CLEMENT C. BACIU

ANATOMIA FUNCȚIONALĂ ȘI BIOMECANICA APARATULUI LOCOMOTOR

Conf. CLEMENT C. BACIU
Doctor docent în științe medicale

ANATOMIA FUNCȚIONALĂ
ȘI BIOMECANICA
APARATULUI LOCOMOTOR

Coperta : C. GULUȚA

Conf. CLEMENT C. BACIU
Doctor docent în științe medicale

ANATOMIA FUNCȚIONALĂ ȘI BIOMECANICA APARATULUI LOCOMOTOR (CU APLICAȚII LA EDUCAȚIA FIZICĂ)

EDIȚIA A III-A
REVĂZUTĂ ȘI COMPLETATĂ



EDITURA SPORT-TURISM
BUCUREȘTI, 1977

CUVÎNT ÎNAINTE

Elaborarea unui manual de anatomie funcțională și biomecanică a aparatului locomotor nu este o sarcină ușoară. Dificultățile provin, pe de o parte, din cantitatea mare de cunoștințe adunate în aceste discipline, cunoștințe ce trebuie selecționate, iar pe de altă parte, din necesitatea de a găsi o formă de prezentare corespunzătoare. Ideea principală care ne-a condus a fost aceea de a îmbrăca într-o formă accesibilă un material ce urmărește îmbunătățirea pregătirii științifice a tuturor celor preocupați de practicarea exercițiilor fizice și a sportului fie în scop preventiv, fie în scop curativ, precum și a celor care studiază fiziologia muncii și ergometria.

La prima vedere, anatomia funcțională și biomecanica aparatului locomotor lasă impresia unei materii aride. Această impresie se va șterge numai dacă materialul va fi citit și recitit cu dorința evidentă de a fi însușit. Dacă ne este permis acest joc de cuvinte, deși lucrarea cuprinde și unele noțiuni de biomecanică, ea nu trebuie însușită în mod mecanic. Memorizarea multor noțiuni noi rămîne indispensabilă, dar mai importantă decît memorizarea rămîn viziunea în spațiu a diferitelor structuri și înțelegerea mecanică a diferitelor acțiuni.

Antrenorii, profesorii de educație fizică și studenții, viitorii profesori, trebuie să fie conștienți de faptul că anatomia funcțională și, legată de aceasta, biomecanica sînt două materii de bază în pregătirea lor științifică. Logica pe care ne permitem să o formulăm ni se pare convingătoare : nu poți fi un bun antrenor sau profesor de educație fizică fără să cunoști

diversitatea formelor de mişcare ale corpului omenesc şi mecanismele lor ; nu poţi cunoaşte mecanismele mişcărilor dacă nu ai noţiuni de biomecanică ; nu poţi înţelege biomecanica dacă nu ai noţiuni elementare de anatomie funcţională.

Mai trebuie adăugat faptul că anatomia funcţională deschide porţile înţelegerii şi altor discipline indispensabile, şi anume, fiziologiei şi biochimiei efortului, precum şi culturii fizice medicale, mijlocul cel mai valoros folosit în reabilitarea deficienţelor aparatului locomotor.

Încurajaţi de faptul că primele două ediţii, tipărite în 1968 şi 1972 s-au epuizat imediat după apariţie şi dorind să îmbunătăţim atît fondul cît şi forma lucrării, am considerat că o a treia ediţie se impune, în aceste momente în care educaţia fizică şi sportul, precum şi reabilitarea deficienţelor aparatului locomotor cunosc în ţara noastră o evoluţie impresionantă.

Această ultimă ediţie a fost completată cu unele capitole noi, iar altele care ni s-au părut prea greoaie, au fost scurtate. Bibliografia lucrării, prezentată pe capitole, a fost actualizată, oferindu-le astfel celor interesaţi o posibilitate mai largă de informare.

Forma lucrării a fost, de asemenea, îmbunătăţită prin mărirea numărului de desene şi schiţe, atît de necesare înţelegerii în spaţiu a structurii anatomice şi funcţiilor biomecanice.

Autorul

PARTEA INTRODUCTIVĂ

DEFINIŢIA ŞI CONŢINUTUL ANATOMIEI FUNCŢIONALE ŞI ALE BIOMECANICII

Anatomia (de la cuvintele greceşti *ana* = prin, şi *temnein* = a tăia) este aceea ramură a ştiinţelor biologice care se ocupă cu studiul structurii fiinţelor organizate, mijlocul principal de investigaţie fiind disecţia.

Studiul structurilor fiinţelor organizate prin disecţie şi în special studiul structurii corpului omenesc, care ne interesează pe noi, nu are o vechime atît de mare, pe cît am fi tentaţi să credem. Nu cu multe secole în urmă, anumite prejudecăţi religioase îi condamnau pe toţi cei ce urmăreau ca prin disecţia cadavrelor să cunoască adevărata structură a corpului omenesc. Biserica aruncase o îngrozitoare anatemă asupra tuturor celor care încercau să descopere substratul material al vieţii, fie ei simpli anatomişti, pictori sau sculptori celebri care numai în taină şi sub ameninţarea unor pedepse aspre puteau să aprofundeze studiile asupra corpului omenesc. Privită din acest punct de vedere, anatomia a fost una din primele ramuri ale ştiinţei care au luptat pentru afirmarea valorilor ştiinţei. Gestul marilor anatomişti ai Renaşterii, care disecau cadavrele umane sub ameninţarea Inchiziţiei, reprezintă una din marile fapte de arme ale cunoaşterii.

Din istoricul anatomiei se desprind cîteva nume celebre, cum ar fi, acela al grecului *Galien* (131—201 e.n.) sau al lui *André Vesal* (1524—1564), cel mai mare anatomist al secolului al XVI-lea, care a trăit la Bruxelles şi a fost unul dintre primii care au sistematizat tehnica disecţiei corpului omenesc.

Anatomia omului, ca şi celelalte ramuri ale ştiinţelor naturii, a cunoscut în secolele următoare, după înfrîngerea prejudecăţilor religioase, un remarcabil progres şi a ajuns să stea la baza studiului ştiinţelor medicale şi a studiului educaţiei fizice.

Alte nume celebre de oameni de știință ca *Douglas, Albinus, Vicq-D'Azyr, Soemmering, Testut* etc. și-au adus contribuția la dezvoltarea acestei ramuri științifice.

Odată cu aprofundarea cunoștințelor asupra structurii externe și interne a diverselor organe și asupra raporturilor de vecinătate dintre ele, etapa anatomiei descriptive și topografice a început să fie depășită. S-au pus probleme noi referitoare la semnificația morfologică a diverselor organe, la rostul lor, la cauzele care au determinat apariția lor. Și astfel s-a ajuns la stabilirea strînsei corelații dintre organe și funcțiile lor, la enunțarea marii legi a biologiei generale : „funcția creează organul".

Structura organelor este subordonată funcției lor. Fenomenele morfologice și cele fiziologice, forma și funcția se condiționează reciproc *(Engels)*, constituind o unitate dialectică : structură-funcție. Modificarea funcției atrage obligatoriu și modificarea formei și organizării exterioare și interioare.

Școala românească de anatomie a adus o importantă contribuție la dezvoltarea acestei ramuri a biologiei. Numele unui *Rainer, Popa, Papilian, Iagnov, Repciuc, Riga, Rusu* și al multor altora vor rămîne strîns legate de evoluția anatomiei, în general, și a anatomiei funcționale, în special. Definiția lui *Rainer* — „anatomia este știința formei vii" — concretizează concepția școlii românești de anatomie.

Structura actuală a corpului omenesc, forma lui, este rezultanta necesității de mișcare. Mișcarea, ca factor primordial care a orientat structurarea corpului omenesc, s-a impregnat în materia vie, dacă ne putem exprima astfel, prezentînd tot timpul vieții satisfacție și răbufnind sub cele mai variate forme. La copii, plăcerea jocului este plăcerea mișcării impregnate în materia vie, răbufnirea ei spontană, naturală.

Cercetările anatomice au atras dezvoltarea altor ramuri ale științelor naturale, cum ar fi fiziologia, biochimia și biomecanica. Studiul izolat, pur descriptiv sau pur topografic, al diverselor organe și sisteme a fost completat prin studiul funcțiilor acestora.Vechile descrieri anatomice erau niște planșe reprezentate static, împietrit. Fiziologia, biochimia și biomecanica au reînviat în mintea și înțelegerea oamenilor vechile descrieri anatomice, le-au redat viața.

Considerînd corpul animalelor drept o mașină vie, *biomecanica* (tot din două cuvinte grecești : *bios* = viață și *mehané* = mașină) se ocupă cu studiul mișcărilor din punctul de vedere al legilor mecanicii.

Corpul sau segmentele lui sînt considerate mobile în mișcare. Biomecanica se ocupă cu studierea formelor de mișcare, a forțelor care produc mișcarea, a interacțiunii dintre aceste forțe și forțele care se opun. Este, deci, o metodă de analiză anatomo-funcțională a mișcărilor în termeni mecanici.

În studiul mișcărilor s-au înregistrat progrese însemnate din punct de vedere al mijloacelor de investigație folosite. Primele încercări se bazau pe metode simpliste, cum ar fi : palparea grupelor musculare în timpul executării mișcărilor sau realizarea de modele experimentale alcătuite dintr-un schelet mobil, ale căror segmente erau mobilizate de fire elastice care înlocuiau mușchii. S-au folosit apoi fotografia *(Mayer)*, globografia (*Strasser*), fotografia geometrică (*Sorel* și *Fred*), cronociclografia (*Dempster*), radiocinematografia (*Catranis*), cinematografia geometrică *(Dufour)*, ciclografia cu oglindă (*Bernstein* și colab.).

Analiza mișcărilor constituie o preocupare nu numai a oamenilor de știință. Nu puțini au fost marii artiști care s-au ocupat de această problemă, strîns legată dealtfel de însăși realizarea efectului artistic. Astfel, de la *Leonardo da Vinci* ne-a rămas unul dintre primele studii asupra mersului.

Primele cercetări de biomecanică rămîn însă legate de numele lui *Borelli* (1679), al fraților *Weber* (1836), al lui *Fischer* (1889), *Marey* (1890), *Demeny* (1900), *Strasser* (1908), *Fick* (1920) etc. La contribuțiile acestora s-au adăugat studiile mai recente ale lui *Basler, Scherb, Hartley, Leshaft, Krauskaia, Kotîkova, Donskoi, Steindler* și mulți alții. La noi în țară, lucrări interesante în acest domeniu datorăm lui *Marinescu*, care a introdus cinematografia în studiul mersului bolnavilor cu afecțiuni neurologice, și în prezent lui *Iliescu*.

Așa cum remarcă *Donskoi*, numai „cunoscînd legile mișcărilor se poate prevedea rezultatul lor în condiții diferite, se pot da la iveală izvoarele greșelilor în mișcări, se poate aprecia în mod just eficacitatea mișcărilor, se pot găsi căile pentru perfecționarea lor și, în ultimă instanță, se pot crea mișcările care corespund, în cel mai înalt grad, sarcinilor motrice propuse".

O definiție a biomecanicii care integrează aceste corelații strînse o datorăm lui *Gowaerts*: „Biomecanica este știința care se ocupă cu studiul repercusiunilor forțelor mecanice asupra structurii funcționale a omului în ceea ce privește arhitectura oaselor, a articulațiilor și a mușchilor, ca factori determinanți ai mișcării".

Cum studiul biomecanicii nu este posibil fără cunoaşterea caracterelor morfo-funcţionale ale organismului, interdependenţa dintre anatomie şi biomecanică rezultă cu prisosinţă.

Biomecanica se ocupă, deci, nu numai de analiza mecanică a mişcărilor, ci şi de efectele lor asupra structurării organelor ce realizează mişcarea. Studiul biomecanicii este astfel strîns legat de studiul anatomiei funcţionale.

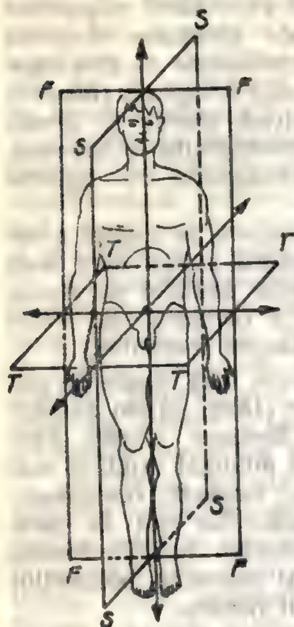


Fig. 1 — Planurile corpului omenesc :
FFFF — plan frontal ; SSSS — Plan sagital ; TTTT — plan transversal. La intersecţia planurilor medio-frontal, medio-sagital şi medio-transversal se găseşte centrul de greutate.

POZIŢIA ANATOMICĂ A CORPULUI. TERMINOLOGIE

Pentru a se uşura studiul corpului omenesc şi pentru a fi posibilă orientarea corectă a segmentelor şi organelor, s-a acceptat, convenţional, o poziţie iniţială, denumită *poziţia anatomică*, o serie de planuri anatomice şi de termeni orientativi, care sînt necesari a fi cunoscuţi.

POZIŢIA ANATOMICA

Omul fiind un animal biped, poziţia lui caracteristică este în picioare, deci în ortostatism. Poziţia anatomică corespunde pînă la un punct cu poziţia de drepţi din gimnastică (fig. 1). Membrele inferioare sînt lipite, cu picioarele la unghi drept pe gambe, genunchi şi şoldurile extinse. Membrele superioare sînt lipite de părţile laterale ale trunchiului, cu coatele extinse, dar spre deosebire de poziţia de drepţi din gimnastică, antebraţele sînt rotate în afară, iar palmele şi degetele extinse privesc înainte.

PLANURILE ANATOMICE

Sînt suprafeţe care secţionează imaginar corpul omenesc sub o anumită incidenţă. În raport cu orientarea faţă de poziţia anatomică se cunosc trei categorii principale de planuri

anatomice : *planuri frontale, planuri sagitale* şi *planuri transversale.*

Planurile frontale sînt dispuse paralel cu fruntea, deci vertical şi latero-lateral şi împart corpul într-o parte posterioară şi una anterioară. Planul frontal care împarte greutatea corpului într-o jumătate posterioară şi o jumătate anterioară ia denumirea de *plan medio-frontal* (fig. 1, FFFF).

Planurile sagitale sînt dispuse vertical şi antero-posterior şi împart corpul într-o parte dreaptă şi o parte stîngă. Planul sagital care împarte greutatea corpului într-o jumătate dreaptă şi o jumătate stîngă ia denumirea de *plan medio-sagital* (fig. 1, SSSS).

Planurile transversale sînt dispuse orizontal şi împart corpul într-o parte superioară şi una inferioară. Planul transversal care împarte greutatea corpului într-o jumătate superioară şi o jumătate inferioară ia denumirea de *plan medio-transversal* (fig. 1, TTTT).

CENTRUL DE GREUTATE

Gravitatea acţionează asupra corpului sub forma unui mănunchi de linii de forţe verticale dirijate spre centrul pămîntului. Toate aceste forţe, asociate vectorial, au o rezultantă care acţionează asupra unui punct al masei corpului denumit centru de greutate care se găseşte situat la intersecţia planurilor medio-frontal, medio-sagital şi medio-transversal (fig. 1).

Centrul de greutate sau de gravitaţie poate fi definit de punctul masei corpului asupra căruia acţionează rezultanta liniilor forţelor gravitaţionale. Aceasta este o forţă dirijată şi orientată, este deci un vector şi poate fi exprimată matematic. Cum gravitaţia este exprimată de acceleraţia g datorită greutăţii (980 cm/s/s) şi rezultă din acţiunea forţelor gravitaţionale (F) asupra masei corpului (M), reiese că :

$$g = \frac{F}{M} \text{ deci } M = \frac{F}{g} \text{ deci } F = Mg$$

Deci, pentru a determina forţa gravitaţională, vom înmulţi masa corpului (M) cu acceleraţia (g). Dacă corpul respectiv este perfect simetric şi are o densitate uniformă, de exemplu, ca o minge de biliard, centrul de greutate se suprapune centrului lui geometric. Corpul omenesc nu este însă simetric, iar diversele segmente au densităţi deosebite, ceea ce face ca centrul de greutate să nu coincidă cu centrul geometric. În plus, corpul omenesc poate lua poziţiile cele mai diferite,

ceea ce atrage o modificare continuă a punctului în care se aplică asupra lui rezultanta liniilor forţelor gravitaţionale. Din această cauză centrul de greutate al corpului nu ocupă o poziţie fixă, ci variază de la individ la individ, de la poziţie la poziţie şi de la o secvenţă a mişcării la alta.

TERMENI ORIENTATIVI

În raport cu centrul de greutate al corpului sau centrele parţiale de greutate ale segmentelor, orientarea diferitelor organe devine posibilă, folosindu-se următorii termeni :

Median (medial, intern) — spre centrul corpului sau segmentului.

Lateral (extern) — în afară faţă de centrul corpului sau segmentului.

Dorsal (posterior) — în spate.

Ventral (anterior) — în faţă.

Proximal (cranial, superior) — în sus faţă de centrul segmentului.

Distal (caudal, inferior) — în jos faţă de centrul segmentului.

Radial — spre radius.

Cubital — spre cubitus.

Tibial — spre tibie.

Fibular — spre peroneu.

Longitudinal — în sensul axei lungi.

Transversal — în sensul axei scurte.

Mişcări :

Abducţie — în afară faţă de axa longitudinală.

Adducţie — înăuntru spre axa longitudinală.

Flexie — îndoire.

Extensie — întindere.

Rotaţie — în jurul axei lungi { internă, externă.

Circumducţie — mişcare complexă, în care segmentul trece succesiv prin poziţiile de flexie, abducţie, extensie, adducţie şi revine la poziţia de flexie (se poate executa şi în sens invers şi cu punct de plecare din orice poziţie).

Pronaţie — răsucirea palmelor în jos.

Supinaţie — răsucirea palmelor în sus.

Notă : Trebuie remarcată deosebirea dintre unii termeni medicali şi unii termeni folosiţi în gimnastică. Astfel, noţiunea de *răsucire* din gimnastică este sinonimă noţiunii de *rotaţie* în biomecanică, iar prin *rotaţie* în gimnastică se înţelege *circumducţia* din biomecanică.

UNITĂŢI DE MĂSURĂ

În studiul anatomo-biomecanic se folosesc o serie de unităţi de măsură, al căror înţeles trebuie precizat. Aceste unităţi au circulaţie internaţională şi au fost standardizate de sistemul Internaţional al Unităţilor (SI).

Sistemul a fost propus prima oară în Franţa în anul 1670 de vicarul *Gabriel Mouton* din Lyon. Acesta, plecînd de la datele obţinute prin măsurarea pămîntului, a propus sistemul metric decimal şi a folosit prefixele latineşti pentru multipli şi fracţiuni. Abia în 1840 sistemul avea să fie adoptat oficial în Franţa. În S.U.A. sistemul a fost recunoscut de lege din 1866 şi adoptat în 1893. Majoritatea ţărilor au adoptat şi ele acest sistem. În ultimii ani în Anglia şi ţările Commonwealth-ului care rămăseseră credincioase vechiului sistem anglo-saxon au acceptat, de asemenea, sistemul internaţional.

Sistemul internaţional al unităţilor are şase unităţi de bază, care se referă la şase parametri :

Parametrul	Unitatea	Simbolul
Lungimea	metrul	m
Masa	kilogramul	kg
Timpul	secunda	s
Curentul electric	amperul	A
Temperatura termodinamică	grade kelvin	°K
Intensitatea luminoasă	candela	cd

Orice alte cantităţi care derivă din aceste şase unităţi sînt desemnate de următoarele prefixe :

Multiplicarea		Prefixul	Simbolul
1 000 000	$= 10^6$	mega	M
1 000	$= 10^3$	kilo	K
100	$= 10^2$	hecto	h
10	$= 10^1$	deka	da
0,1	$= 10^{-1}$	deci	d
0,01	$= 10^{-2}$	centi	c
0,001	$= 10^{-3}$	mili	m
0,000 000	$= 10^{-6}$	micro	μ
0,000 000 000	$= 10^{-9}$	nano	n
0,000 000 000 000	$= 10^{-12}$	pico	p

UNITĂŢI DE LUNGIME

În studiile microscopice şi ultramicroscopice ale ţesuturilor se folosesc următoarele unităţi de măsură :

Micron (μ) = a mia parte dintr-un milimetru. Sinonim = micrometru.

Milimicron (mμ) = a mia parte dintr-un micron. Sinonim = manometru.

Ångstrom (Å) = a zecea mia parte dintr-un micron (0.0 000 000 001 m = 1×10^{-10}).

UNITĂŢI DE MASĂ

Kilogram. În fizică kilogramul reprezintă o unitate de măsură a masei (masa = volum × densitate) şi se defineşte ca o cantitate de materie egală cu kilogramul prototip internaţional (o bară de platină-iridium depozitată la Biroul Internaţional de Greutăţi şi Măsuri, lîngă Paris).

UNITĂŢI DE FORŢĂ

Newton. Forţa care accelerează o masă de un kilogram, la un metru pe secundă, pe secundă.

Din. Forţa care accelerează o masă de un gram, la un centimetru pe secundă, pe secundă.

Kilogram-forţă sau kilogram-greutate. Forţa cu care o masă de un kilogram-masă este atrasă spre centrul pămîntului. Acceleraţia gravitaţiei pămîntului variază între 9,78 şi 9,83 metri pe secundă în raport cu punctul de pe suprafaţa globului. Gravitaţia standard este considerată a fi 9.80665 metri pe secundă, adică gravitaţia de la nivelul mării, la 45° latitudine nordică.

Kilopond. Forţa care poate acţiona în orice direcţie cu o valoare de 9.80665 newtoni. Este echivalentă cu greutatea unui kilogram-masă aflată sub secţiunea standard a gravitaţiei pămîntului.

Tabelul unităţilor de forţă

Unitatea de forţă	Masa × acceleraţie
Din	= Gram × centimetru pe secundă, pe secundă
Newton	= Kilogram × metru pe secundă, pe secundă
Kilogram-forţă Kilogram-greutate Kilopond	= Kilogram × 9.80665 metri, pe secundă, pe secundă

BIOLOGIA LOCOMOŢIEI UMANE

Aparatul specializat care efectuează mişcările corpului omenesc se numeşte „aparat locomotor“, iar funcţia complexă a acestui aparat, „locomoţie“'.

DEFINIŢIA LOCOMOŢIEI

Majoritatea autorilor înţeleg prin locomoţie o deplasare a *corpului animal* în totalitate dintr-un punct în altul. Etimologic, interpretarea este corectă, întrucît termenul provine de la cuvintele latineşti *locus* = loc şi *motus* = mişcat. Definiţiile locomoţiei în general se încadrează acestui sens. În *Petit Larousse Illustré*, locomoţia este definită „acţiunea de a transporta dintr-un loc în altul“. În Dicţionarul Limbii Române Moderne este „deplasarea, mişcarea dintr-un loc în altul“.

Termenul de locomoţie a fost introdus la început pentru a defini deplasarea sau mişcarea unui mobil oarecare, dotat cu un motor propulsor. Corpul animal poate fi considerat şi el un mobil dotat cu un motor propulsor şi de aceea deplasarea sau mişcarea lui, în totalitate, dintr-un loc în altul, poate fi denumită locomoţie.

Dar corpul animal nu dispune numai de posibilitatea de a se deplasa, ci de a sta şi de a apuca anumite obiecte. De unde, necesitatea întrevăzută de unii autori de a completa termenul de „aparat locomotor“, înlocuindu-l cu acela de „aparat locomotor, de statică şi de prehensiune“. Cum corpul omenesc dispune însă şi de alte numeroase şi variate posibilităţi de mişcare (împingere, căţărare, lovire etc.) ar însemna, mergîndu-se pe această linie, ca termenul să se lungească şi să se modifice la infinit. Motiv pentru care alţi autori au şi renunţat la termenele de „aparat locomotor“, preferîndu-l pe acela de „aparat de mişcare“ sau acela şi mai cuprinzător de „aparat de sprijin şi de mişcare“.

În definirea „locomoţiei umane“ este corect să se pornească de la înseşi sensurile cele mai generale ale acestui termen. Locomoţia nu poate fi numai a corpului întreg, ci şi a segmentelor lui izolate. Deplasarea mîinii, dintr-un punct în altul al spaţiului, este tot o formă de locomoţie. La fel deplasarea piciorului sau a capului. Urmează să ne referim, deci, nu numai la o deplasare a corpului în totalitate, faţă de punctul de sprijin anterior avut pe sol, ci pur şi simplu la o deplasare în spaţiu faţă de un punct de referinţă.

Aceştia fiind parametrii generali de orientare, locomoţia animală poate fi definită, astfel : *„fie deplasarea unui segment al corpului dintr-un punct în altul al spaţiului, faţă de un punct de referinţă, fie în forma ei cea mai completă, deplasarea întregului corp în spaţiu, faţă de un punct de sprijin anterior"*. Definiţia locomoţiei se suprapune astfel definiţiei *„mişcării sau deplasării biologice"*, în general. Autorii americani au renunţat de aceea la termenul de locomoţie, înlocuindu-l cu termenul mai general de *„chinezis"* (mişcare), iar ramura ştiinţelor biologice care se ocupă cu studiul mişcărilor locomotorii a luat denumirea de *„chineziologie"*.

Locomoţia animală este forma cea mai desăvîrşită de mişcare a materiei vii, forma care subordonează şi înglobează toate celelalte forme ale mişcării biologice. În cadrul locomoţiei animale, locomoţia umană ocupă un loc deosebit atît prin caracterele ei, cît şi prin filogenia şi ontogenia ei.

MIŞCAREA CA FORMĂ DE EXISTENŢĂ A MATERIEI

Mişcarea, în sensul cel mai înalt, filozofic, este forma de existenţă a materiei, însuşirea esenţială şi inseparabilă a materiei. Mişcarea nu poate exista fără materie, după cum nici materia nu există fără mişcare. Nu există deci mişcare „pură", imaterială.

Mişcarea, ca şi materia, este veşnică ; nu poate fi creată şi nu poate fi distrusă. *Descartes* exprima astfel acest adevăr : „cantitatea de mişcare existentă în lume este totdeauna aceeaşi". Izvorul mişcării se află în materia însăşi, impulsul interior al oricărei mişcări constituindu-l contradicţiile, lupta contrariilor. Chiar forma cea mai simplă de mişcare, deplasarea corpurilor în spaţiu, este o contradicţie ; despre corpul în mişcare se poate spune că în aceeaşi clipă el se află şi nu se află în acelaşi loc.

Mişcarea este absolută, iar repausul o măsură, o expresie a mişcării, opusul mişcării. Repausul este, deci, relativ şi are sens numai în raport cu forma individuală de mişcare.

Mişcarea în sens filozofic nu reprezintă o simplă deplasare în spaţiu a obiectivelor materiale, ci orice schimbare, orice transformare, observată în natură şi societate. „Mişcarea înţeleasă în accepţiunea cea mai largă a cuvîntului, concepută ca formă de existenţă a materiei, ca un atribut inerent al

acesteia, înglobează în sine, toate schimbările și procesele care au loc în univers, începînd cu simple deplasări și terminînd cu gîndirea" *(Engels)*.

FORMELE PRINCIPALE ALE MIȘCĂRII

Pe această scară largă a posibilităților de mișcare se pot distinge următoarele forme principale :

1. *Mișcarea microparticulelor materiei* (automișcarea) se referă la deplasările electronilor, protonilor, neutronilor sau altor particule elementare.
2. *Mișcarea mecanică* (deplasarea corpurilor în spațiu) este forma cea mai veche de mișcare cunoscută și se referă la mișcarea corpurilor inerte.
3. *Mișcarea fizică* (mișcarea moleculară sub formă de căldură, lumină, electricitate etc.).
4. *Mișcarea chimică* (combinarea și dezagregarea atomilor).
5. *Mișcarea biologică* (viața celulei și a organismelor vii, metabolismele, locomoția lor).
6. *Mișcarea socială* (viața socială).

Între formele principale ale mișcării există o legătură reciprocă, ele putîndu-se transforma una în alta. Mișcarea mecanică se transformă în anumite condiții în mișcare fizică ; mișcarea fizică, în mișcare chimică. etc. Dar între diferitele forme de mișcare sînt și deosebiri fundamentale, legate de natura purtătorului însăși a formei de mișcare, de legile specifice ale fiecărei forme și de contradicțiile proprii care generează mișcarea în cadrul fiecărei forme.

De aceea, formele superioare ale mișcărilor nu pot fi explicate integral prin aplicarea legilor formelor inferioare de mișcare. Mișcarea biologică, de exemplu, (viața și locomoția organismelor vii) nu poate fi pe deplin explicată, numai prin aplicarea legilor mișcărilor mecanice, fizice sau chimice. Mișcarea biologică este o formă superioară de mișcare, care dispune de calități noi și mecanisme noi, caracteristice acestei forme. În cadrul acestor calități și mecanisme noi, formele inferioare de mișcare nu sînt fundamentale, ci numai auxiliare și ele nu epuizează esența formei superioare a mișcării biologice. Natura biocurenților nervoși și musculari, deși este asemănătoare, nu este identică naturii curenților electrici. Segmentele osoase nu acționează ca niște simple pîrghii și forța lor de acțiune nu se poate determina matematic, apelînd la formulele clasice de determinare a funcțiilor mecanice ale

pîrghiilor, deoarece intervin, după cum vom vedea, o serie de factori, care nu pot fi încadraţi (componenta articulară, momentul muşchiului, intervenţia hipomochlioanelor, existenţa muşchilor pluriarticulari etc.).

Iată de ce, în înţelegerea şi interpretarea mişcării biologice, aplicarea legilor din mecanică, din fizică şi din chimie, nu reuşeşte să redea întreaga complexitate a fenomenelor. Aplicarea acestor legi nu reuşeşte, eventual, decît să prezinte schematic şi mecanicist numai aspecte singulare ale complexului proces biologic, care este locomoţia animală.

EVOLUŢIA FILOGENETICĂ A LOCOMOŢIEI ANIMALE

Mişcarea a precedat şi a pregătit condiţiile favorabile indispensabile apariţiei materiei vii. După cum se ştie, în apariţia materiei vii se disting, în mare, trei stadii evolutive : stadiul chimic, stadiul coloidal şi stadiul morfologic *(Duclaux)*.

Iritabilitatea. În stadiul chimic, mişcarea s-a manifestat sub forma combinaţiunilor chimice prin care C, O, H, N, Ph, S, K, Na, Mg şi Fe au realizat primele grămezi plurimoleculare sau *coacervatele lui De Young*. În această fază, începe să se pregătească bazele ***mişcărilor pseudopodale*** (amiboidele), care nu sînt în fond decît ***chimiotropisme***, deci, mişcări pasive comandate de tropisme faţă de unele substanţe chimice ale mediului extern.

În stadiul coloidal, în care moleculele chimice s-au grupat formînd *substanţele albuminoide coloidale*, a apărut *mişcarea browniană*. Se ştie că o soluţie care conţine substanţe albuminoide, deci necristalizabile, realizează o soluţie coloidală în care particulele solide mici ale albuminoidelor dispersate şi suspendate în întreaga soluţie sînt animate de o mişcare neîncetată. Această mişcare, denumită mişcare browniană, se explică prin agitaţia moleculară a fluidelor.

Sistemul realizat de soluţia albuminoidă coloidală este instabil şi fragil. Instabilitatea şi fragilitatea sistemului coloidal se explică prin fenomenele electrice ale *miceliilor*, adică ale corpurilor impure, dispersate în soluţie. Pentru o mai bună înţelegere, vom da exemplul miceliilor de ferocianură de cupru coloidal, substanţă care rezultă din unirea ferocianurei de potasiu cu sulfatul de cupru. Miceliile ferocianurei de cupru coloidale sînt alcătuite dintr-un nucleu (strat intern), format de ferocianura de cupru şi dintr-un strat exterior, format de

ferocianura de potasiu (fig. 2). Cele două straturi ale miceliilor sînt încărcate electric diferit, iar această încărcare este alternantă. Alternanța electrică a straturilor micelare realizează în interiorul miceliilor o energie considerabilă, dar în același timp le conferă și un grad mare de instabilitate și fragilitate. Acestea pot fi considerate substratul uneia din carac-

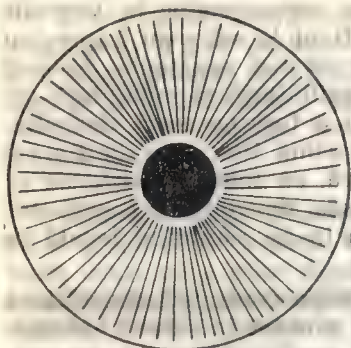


Fig. 2 — Miceliu de ferocianură de cupru coloidală.

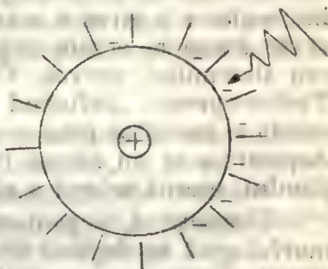


Fig. 3 — Organismul monocelular ciliat se încarcă negativ datorită vibrațiilor cililor (după Laville).

teristicile esențiale pe care le va prezenta materia vie și anume *iritabilitatea*, formă primitivă a *sensibilității*.

În stadiul morfologic în care materia vie se structurează și se prezintă sub formă de celule (cu nucleu, membrană, protoplasmă etc.), schimburile electrice ale celulelor cu mediul exterior continuă. Sarcinile electrice ale celulei se dispersează în mediul înconjurător și pentru a-și menține existența celula trebuie să se reîncarce electric continuu. Reîncărcarea electrică a celulelor se face într-o mică măsură prin nutriție și în cea mai mare măsură prin deplasările celulelor în mediul în care trăiesc.

Să luăm ca exemplu organismele monocelulare ciliate (fig. 3). Acestea, ca și celelalte organisme vii, sînt corpuri eterogene față de mediul în care se găsesc. Este cunoscut faptul, tradus dealtfel în principiu, că toate corpurile eterogene, supuse la vibrații de diferite ordine (mecanice, calorice, radiații etc.) se încarcă electric. Corpurile metalice și cele bune conducătoare de electricitate (elementele negative) se

încarcă pozitiv, iar celelalte corpuri (elementele pozitive) se încarcă negativ. Organismele monocelulare ciliate, în deplasările lor datorită vibrațiilor cililor, se vor încărca negativ, fiind vorba de un corp eterogen (element pozitiv) care este supus unor vibrații mecanice (*Laville*).

Etapele dezvoltării în continuare ale stadiului morfologic sînt numeroase și în toate mișcarea a deținut rolul primordial. Să ne referim numai la diviziunea organismelor în vegetale și animale. Organismele care s-au fixat la sol s-au impregnat la suprafață cu celuloză pentru a fi cît mai rezistente. Această impregnare a atras o stăvilire a sensibilității și mobilității lor și de aceea la aceste organisme nu a fost necesară dezvoltarea sistemului nervos. Cum se exprima literar și la figurat *Techoveyeres*: „refuzînd viața liberă, cu toate hazardurile ei, celula a renunțat prin aceasta la însăși dezvoltarea conștiinței. Aspirațiile ei au rămas limitate, ea însăși rămînînd legată de pămînt, eternă sclavă a globului".

Dimpotrivă, organismele care și-au continuat dezvoltarea morfologică în deplină libertate, au evoluat în sensul îmbunătățirii continue a sensibilității și a posibilităților lor de mișcare. Ele au fost obligate, pentru a-și asigura existența, să se deplaseze continuu pe anumite direcții determinate de factorii utilității. Așa cum afirmă legea opțiunii vitale a lui *Carnot* — din mai multe direcții, organismul va opta pentru aceea care-i este mai utilă. Rezultatul acestor mișcări utilitare, din ce în ce mai complexe, au fost apariția și perfecționarea contractibilității, reflectivității și a sistemului nervos.

Contractibilitatea. Necesitatea de a reacționa la stimulii externi și mai ales necesitatea de a se deplasa în scopuri utilitare (căutarea hranei, lupta pentru existență etc.), au atras pe lîngă dezvoltarea iritabilității și dezvoltarea celei de a doua calități esențiale a materiei vii, *contractibilitatea*.

Contractibilitatea protoplasmatică primitivă constă în deformările protoplasmei. Pornind de la această formă primitivă, contractibilitatea a evoluat, permițînd deplasarea întregului organism celular, în raport cu mediul său extern. Etapele evolutive ale contractibilității au fost următoarele: *mișcările amiboide, mișcările ciliate* și *mișcările flagelare* și — în final — *mișcările musculare*.

Mișcarea amiboidală se realizează cu ajutorul pseudopodelor, iar mișcarea ciliată și flagelară cu ajutorul cililor și flagelurilor. Cea mai evoluată formă a contractibilității o re-

prezintă însă mişcarea musculară. Celulele musculare au rezultat din adaptarea morfo-funcţională a unui grup de celule, care s-au specializat ca urmare a dezvoltării continue a contractibilităţii. Muşchiul striat a apărut la nevertebratele superioare (moluşte, cefalopode, insecte) ca o necesitate funcţională şi s-a perfecţionat continuu, atingînd o dezvoltare maximă la vertebrate.

Dezvoltarea unor muşchi striaţi din ce în ce mai puternici, nu ar fi fost posibilă fără apariţia în interiorul corpului şi a unor puncte de sprijin dure, fără apariţia scheletului osos şi a articulaţiilor. Aparatul locomotor poate fi astfel privit ca un rezultat final al desăvîrşirii contractibilităţii protoplasmatice.

Reflectivitatea. Necesitatea de a reacţiona la stimulii externi şi de a se deplasa în scopuri utilitare, a atras dezvoltarea continuă a celor două calităţi esenţiale ale materiei vii : iritabilitatea şi contractibilitatea, pe care le-a reunit într-o calitate nouă, superioară, denumită *reflectivitate*.

Prin reflectivitate se înţelege calitatea esenţială a organismelor de a sesiza impresiile factorilor externi sau interni şi de a reacţiona faţă de aceştia. În dezvoltarea acestei calităţi esenţiale superioare, *Roger*, recunoaşte trei etape evolutive :

1) reflectivitatea aneurogenă,

2) reflectivitatea neuroidă,

3) reflectivitatea nervoasă.

Reflectivitatea aneurogenă, forma cea mai elementară, se bazează pe tropisme şi se întîlneşte la amoebe. Organismele nu dispun de nici un aparat nervos. Sesizarea impresiilor şi a reacţiei faţă de ele se bazează exclusiv pe iritabilitatea şi contractibilitatea substanţei vii neorganizate.

Reflectivitatea neuroidă se realizează prin anumite zone profunde ale protoplasmei anumitor celule, care încep să se specializeze. Acest tip de reflectivitate se întîlneşte la hidra de apă dulce, care este constituită doar din două foiţe celulare suprapuse. Celulele de origină ectodermică, diseminate pe tot întinsul suprafeţei exterioare a corpului, joacă rol de celule senzitive şi de celule contractile şi poartă denumirea de *celulele neuromusculare ale lui Kleinberg*. Şi în organismul uman se pot întîlni relicve ale acestui tip de reflectivitate primitivă şi anume cilii vibratili ai bronhiilor.

Reflectivitatea nervoasă se realizează în urma apariției organelor nervoase specializate. Astfel, meduza — deși face parte tot din grupa celenteratelor — posedă organe tactile, ochi rudimentari și pungi auditive. La aceste organisme, celulele neuromusculare s-au separat în două tipuri celulare distincte : musculare și cele nervoase. Ultimele, deși rămîn în ectoderm, nu mai sînt diseminate pe toată suprafața exterioară a corpului, ci se grupează sub o formă de inel, realizîndu-se astfel formele cele mai potrivite de sistem nervos.

La animalele și mai evoluate, organele nervoase continuă să se formeze din ectoderm, dar se izolează de acesta și se înfundă spre interiorul organismului, unde sînt mai protejate. Astfel, izolat și diferențiat, sistemul nervos ajunge să se organizeze sub formele cele mai variate. La anelide, artropode și moluște acesta se compune dintr-o serie de mase mici sau ganglioni, uniți unul de altul prin cordoane mici nervoase sau chiar nervi. La vertebrate se prezintă sub forma unei tije lungi de substanță nervoasă, mai mult sau mai puțin umflată spre extremitatea cefalică și adăpostită în canalul osos craniovertebral. Datorită formei pe care o are partea centrală a sistemului nervos al vertebratelor poartă denumirea de *axă cerebrospinală.*

Datorită perfecționării continue a aparatului locomotor, pe de o parte, și a sistemului nervos, pe de alta, organismele animalelor au ajuns să dispună de posibilități din ce în ce mai complexe de statică și mișcare, ajungînd pînă la formele superioare ale staticii și mișcării animale, *statica și locomoția umană.*

TIPURILE DE STATICĂ ȘI LOCOMOȚIE

Se pot descrie, în linii mari, patru tipuri principale de postură și de locomoție animală : statica și locomoția reptiliană, cvadrupedia, brahiația și bipedia.

Statica și locomoția reptiliană. Se întîlnește la tîrîtoare, care-și mențin axa longitudinală a corpului în contact cu solul și se deplasează vermicular prin tîrîre.

Cvadrupedia. Reprezintă tipurile de postură și de locomoție ale animalelor patrupede, la care centrul de greutate este situat anterior, aproximativ deasupra membrelor anterioare, la nivelul toracelui. Exemplul tipic îl reprezintă bizonul (fig. 4).

Brahiaţia. Constituie tipul de postură şi de locomoţie al primatelor, care folosesc membrele anterioare pentru a se atîrna şi deplasa în copaci. Centrul de greutate este plasat mai posterior, cam în dreptul mijlocului trunchiului. Exemplele tipice sînt reprezentate de diferitele specii de maimuţe (fig. 4). Membrele anterioare ale acestor animale se alungesc, ajungînd la urangutan, de exemplu, să aibă 202,60% faţă de trunchi, în timp ce membrele posterioare se scurtează şi ajung să aibă 118,2% faţă de trunchi.



Fig. 4 — La cvadrupede, centrul de greutate este situat anterior, aproximativ deasupra membrelor anterioare (după A. Delmas).

Bipedia. Reprezintă tipul de postură şi de locomoţie caracteristic omului, care foloseşte în mod obişnuit membrele inferioare pentru statică şi locomoţie. Centrul de greutate este plasat tot la nivelul trunchiului, dar mai jos.

Celelalte specii de animale nu folosesc bipedia decît ocazional. Cîinele, calul şi alte animale pot fi dresate să stea sau să meargă ocazional pe membrele posterioare. Experimental, la şoarecii nou-născuţi, cărora li s-au amputat membrele anterioare, s-a putut obţine de asemenea o formă de bipedie *(Fenard)*. Dar în nici unul din aceste cazuri nu este vorba de o locomoţie verticală asemănătoare cu a omului, deoarece nici coloana vertebrală, nici poziţia şi forma craniului nu se modifică. Ursul şi cangurul, deşi se pot deplasa pe membrele posterioare, nu se apropie de verticalitatea caracteristică omului, membrele lor anterioare fiind mult flectate. De asemenea, maimuţele — despre care se ştie că au posibilitatea de a se ridica ocazional pe membrele posterioare, nu prezintă nimic asemănător cu bipedia omului *(Arambourg)*. Coloana vertebrală prezintă o curbură unică asemănătoare celei a patrupedelor, iar curburile de compensare, necesare proceselor de echilibrare, sînt reprezentate de flectarea segmentelor membrelor inferioare.

Bipedia umană se deosebeşte fundamental de postura sau locomoţia verticală ocazională a celorlalte animale. Ea a atras

unele modificări morfo-funcţionale caracteristice omului şi a fost indispensabilă evoluţiei psiho-fizice a acestuia. Membrele inferioare se extind din genunchi şi şolduri, iar curburile de compensare necesare proceselor de echilibrare apar la nivelul coloanei vertebrale (fig. 5). Aşa cum se exprimă *A. Delmas*, profesor de anatomie al Facultăţii de Medicină din Paris, „bipedia umană presupune o anumită plasticitate, o anumită adaptare la o serie de condiţii foarte variate, la tot ceea ce poate presupune o activitate omenească oarecare, în spaţiu şi în timp".



Fig. 5 — Apariţia curburilor de compensare la nivelul coloanei vertebrale.

Modificările morfo-funcţionale cele mai importante, rezultate din bipedie, pot fi considerate următoarele:

1. *Eliberarea membrelor anterioare,* care la cvadrupede deserveau statica, s-au transformat în aparate de prehensiune şi în veritabile organe senzoriale libere.

Mîinile, cum afirmă *Aristotel,* au fost primele instrumente ale omului, au fost acele instrumente „care au precedat şi care au produs toate celelalte instrumente, organe deopotrivă ale investigaţiei şi locomoţiei".

Dezvoltarea sistemului nervos, a inteligenţei şi a conştiinţei de sine au fost strîns legate de dezvoltarea mîinii. „Dominarea naturii — a spus *Engels* — a început odată cu dezvoltarea mîinii şi a muncii". *Radisev* spunea — pe bună dreptate — că „mîinile au format calea spre inteligenţă".

Chiar denumirea de om provine, în unele limbi, cum ar fi engleza (the man) sau germana (der Mann), de la latinescul *manum,* care înseamnă mînă.

Legătura intimă dintre dezvoltarea structurii şi funcţiilor cerebrale şi bipedia este demonstrată şi de fenomenul „omul-lup". În India au fost descoperite cîteva cazuri de „oameni-lupi", proveniţi din copiii adoptaţi şi îngrijiţi de animalele sălbatice. Aceşti „oameni-lupi" au revenit la postura şi locomoţia cvadrupedă, se deplasau cu o viteză deosebit de mare, dar au rămas, din punct de vedere al dezvoltării mintale, nişte fiinţe inferioare.

2. *Verticalizarea coloanei vertebrale* atrage o adaptare morfo-funcţională, de asemenea caracteristică. La primate, co-

loana își menține aceleași caracteristici ca și la patrupede și nu este altceva decît o punte suspendată, sprijinită la capetele ei de membre, care susține în hamacul centurii musculare viscerele toracale și abdominale. Numărul vertebrelor este următorul : 26 vertebre mobile deasupra sacrului, 3 sacrate, independente, iar coada conține nu mai puțin de 20 vertebre. La antropoide (cimpazeu, urangutan, gorilă), numărul vertebrelor este următorul : 23—24 vertebre mobile deasupra sacrului, 5—6 vertebre sacrate independente, iar coada dispare. La nivelul șarnierei lombosacrate se produce, deci, o sacralizare, o integrare a celei de a cincea vertebre lombare la sacru.

La om formula este de : 24 vertebre mobile deasupra sacrului (7 cervicale, 12 dorsale, 5 lombare), 5 vertebre sacrate și 3—5 caudale. Sacrul, care este segmentul de sustentație al coloanei vertebrale, își unifică vertrebrele într-un corp comun, tocmai pentru a putea face față acestei necesități funcționale, iar numărul de vertebre mobile de deasupra lui se reduce de la 26 la 24.

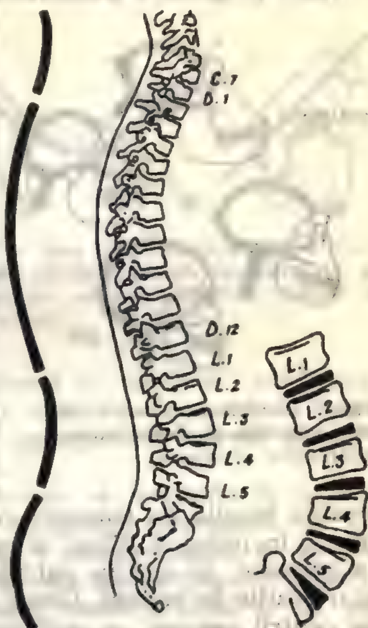


Fig. 6 — **Instalarea curburilor de compensare la nivelul coloanei vertebrale.**

Verticalizarea coloanei vertebrale a atras însă nu numai modificarea numărului vertebrelor, ci și a formei întregii coloane, care a început să se curbeze (fig. 6). Prima curbură s-a produs în regiunea lombară, ca urmare a ridicării capului și eliberării membrelor anterioare. Ea este orientată cu concavitatea posterior și realizează o lordoză. Celelalte curburi sînt curburi de compensație, apărute ulterior — o curbură cifotică cu concavitatea orientată anterior, în regiunea toracală și o curbură din nou lordotică în regiunea cervicală. Astfel structurată, coloana ajunge să fie nu o tije rectilinie, ci o sinusoidă, ceea ce îi conferă o rezistență mult mai mare la presiuni.

3. *Orizontalizarea găurii occipitale*, care la antropoide este dispusă oblic, este o urmare directă a verticalizării coloanei vertebrale. Această orizontalitate a fost decisivă deoarece orientarea senzorială a craniului (în special faţa) a rămas constantă, dar craniul posterior s-a rotat înapoi, oferind astfel pereţilor proprii posibilitatea să se dezvolte sub influenţa dezvoltării progresive a emisferelor cerebrale (fig. 7). Astfel, cutia craniană a gorilei are o capacitate de 685 cm³, a pithecantropului de 870 cm³ şi a omului actual, în medie de 1 400 cm³.

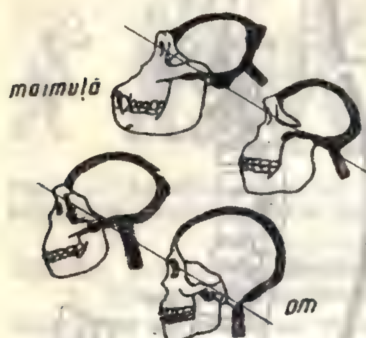


Fig. 7 — Orizontalizarea găurii occipitale şi dezvoltarea emisferelor cerebrale.

4. *Echilibrarea centrului de greutate* în bipedie este o problemă de bio-biomecanică deosebit de delicată. Statica şi locomoţia verticală sînt cele mai instabile dintre toate *(Delmas)* şi pot fi calificate drept „potenţialmente catastrofale" *(Napier)*.

Statica şi locomoţia bipedă presupun un mare consum de energie şi nu sînt practic posibile decît prin intrarea în acţiune a numeroase arcuri şi acte reflexe. Poziţia bipedă nu cunoaşte o stabilizare strict pasivă. Oile pot dormi în picioare. Cîinii şi caii pot rămîne chiar după moarte în picioare, în sprijin patruped. Poziţia patrupedă reprezintă şi o poziţie de repaus. Omul, dacă îşi pierde controlul efectuat de centrii nervoşi, se prăbuşeşte. Poziţia bipedă nu este o poziţie de repaus.

În poziţia bipedă, centrul de greutate oscilează continuu, între a cădea înainte, înapoi sau în părţile laterale ale poligonului de susţinere. Pentru menţinerea poziţiei este necesară intrarea în acţiune a milioane de receptori şi de circuite nervoase, antrenarea tuturor analizorilor, sesizarea a zeci de mii de centri nervoşi. Necesităţile de echilibrare ale centrului de greutate au contribuit şi ele la o dezvoltare corespunzătoare a sistemului nervos, dar mai ales la apariţia şi dezvoltarea cerebelului.

5. *Lărgirea cîmpului vizual* a rezultat din verticalizarea coloanei vertebrale, înălţarea nivelului capului şi rotaţia craniului. Împreună cu ceilalţi factori, ea a contribuit la dezvol-

tarea encefalului și a craniului și deci la evoluția caracteristică psiho-fizică a corpului omenesc.

6. *Lungimea membrelor* se modifică și ea. La urangutan, de exemplu, membrele anterioare sînt lungi (reprezintă 202,6% față de trunchi) și cele posterioare scurte (reprezintă 118,2% față de trunchi). La om, membrele superioare se scurtează și ajung la 158,6% față de trunchi, iar membrele inferioare se alungesc și ajung la 171,9% față de trunchi. Din această cauză, nu putem fi cățărători excelenți, ca maimuțele și dacă vrem să ne urcăm pe un trunchi de copac, cuprinzîndu-l cu brațele, ne lovim cu fața de el. De aceea locuitorii din insulele Pacificului, folosesc o coardă cu care își prelungesc membrele superioare, iar muncitorii de întreținere ai rețelelor telefonice folosesc niște cîrlige prelungitoare speciale. În schimb, prin prelungirea membrelor inferioare, se ușurează mersul și alergarea, lungindu-se pasul și fuleul.

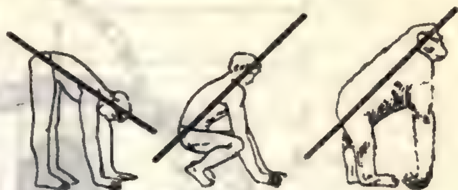


Fig. 8 — Axa longitudinală a trunchiului este dirijată invers la maimuță și la om, din cauza lungimii diferite a membrelor.

Lungimea inversată a membrelor la maimuțe și la om face ca axa lungă a trunchiului, în poziție patrupedă, să fie dirijată exact invers. La maimuță — caudo-cranial și de jos în sus, la om — caudo-cranial și de sus în jos (fig. 8). Pentru a-și dirija axa lungă a trunchiului, caudo-cranial și de jos în sus, omul trebuie să-și flecteze membrele inferioare, ca în poziția ghemuit.

EMBRIOGENEZA APARATULUI LOCOMOTOR LA OM

Evoluția ontogenetică a aparatului locomotor repetă în mare, evoluția filogenetică.

După fecundare, ovulul începe să se segmenteze, în timp ce nucleul se divizează prin kariokineză. Segmentarea se face în mai multe etape.

Într-o primă etapă, ovulul fecundat se împarte în *două sfere*. Una dintre sfere este clară și prin diviziunea ei ulterioară se vor forma celulele mici ale *ectodermului*.

A doua sferă are un aspect mai întunecat și prin diviziunea ei ulterioară se vor forma celulele mari ale *endodermului*.

Celulele ectodermului se înmulţesc mai rapid şi înconjură celulele endodermului.

Astfel, printr-o segmentaţie rapidă în progresie geometrică, se ajunge la cea de a doua etapă, *morula*, formată dintr-un conglomerat muriform de celule mici.

Într-un punct al ei morula se invaginează, ajungînd la a treia etapă a segmentului, *blastula*. În etapa de blastulă, embrionul prezintă o cavitate centrală mărginită de o *membrană blastodermică*. Membrana blastodermică este alcătuită din două foiţe de celule pavimentoase ; o foiţă externă, ectodermală sau *ectodermul*, şi o foiţă internă, sau *endodermul*. Punctul unde a început invaginarea şi formarea cavităţii centrale rămîne sub forma unui orificiu, *blastoporul*, prin care cavitatea intră în contact cu exteriorul.

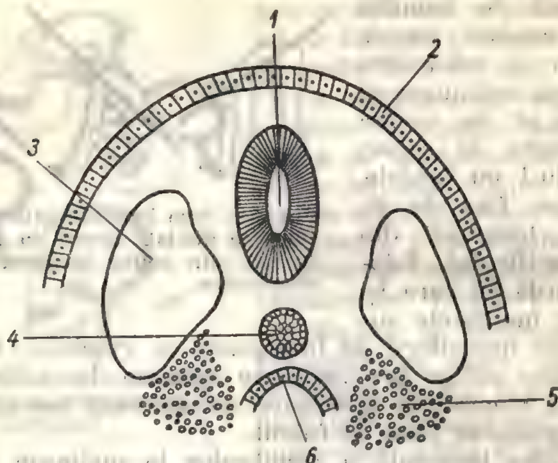


Fig. 9 — Secţiunea transversală printr-un embrion :
1 — tub neutral ; 2 — ectoderm ; 3 — protovertebre ; 4 — notocordă ; 5 — mezoderm nedivizat ; 6 — endoderm.

În continuare, oul se alungeşte şi începe să prezinte o extremitate cefalică şi una caudală. În acest moment la suprafaţa embrionară ectodermică apare *şanţul neural*, de la o extremitate la alta a embrionului. În dreptul şanţului neural, celulele endodermului se diferenţiază şi formează un lanţ celular deosebit, denumit notocorda (fig. 9).

Între ectoderm şi endoderm apare prin diviziune celulară o a treia foiţă embrionară, şi anume, *mezodermul*. Mezodermul se împarte în două foiţe, una superficială şi alta profundă. Foiţa superficială *(lama muscula cutanata)* se ataşează feţei interioare a ectodermului şi formează *somatopleura*. Foiţa profundă *(lama fibrointestinalis)* se ataşează feţei exterioare a

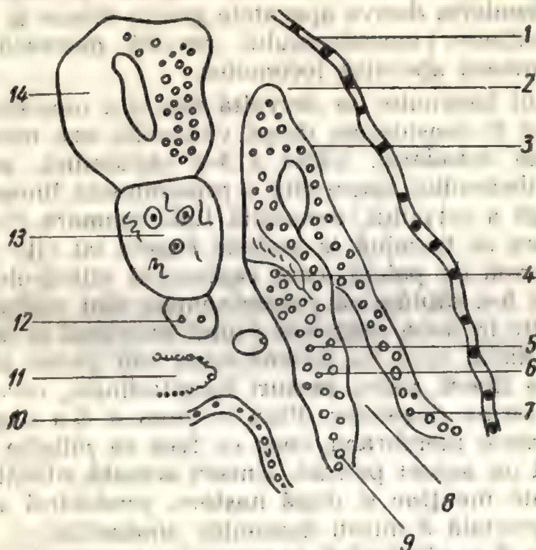


Fig. 10 — Formarea sclerotomului la un embrion :
1 — ectoderm ; 2 — marginea dorsală a somitului ; 3 — lamă dorsală ; 4 — miotom ; 5 — sclerotom ; 6 — placa nefrotomială ; 7 — somatopleură ; 8 — celom ; 9 — spanhnopleură ; 10 — endoderm ; 11 — aortă ; 12 — hipocordă ; 13 — notocordă ; 14 — tub renal.

endodermului şi formează *spanhnopleura*. Între somatopleură şi splanhnopleură apare o fantă, *celomul* (fig. 10).

Oul ajunge în acest stadiu în numai 3—4 zile şi nu este încă fixat în uter. El continuă să se dezvolte liber, se măreşte şi se încurbează, iar în cea de a doua săptămînă a gestaţiei se fixează la uter cu ajutorul anexelor embrionare (vezicula ombilicală, amniosul, chorionul, alantoida etc.).

După fixarea la uter, cele trei foiţe primitive ale embrionului : ectodermul, endodermul şi mezodermul contribuie, prin

diviziunea lor, la formarea aparatelor embrionare. Unele dintre aparate provin în întregime dintr-o singură foiță primitivă, iar altele din mai multe foițe. Le vom împărți însă pe toate, ca derivînd numai din foița principală din care provin.

Din ectoderm derivă sistemul nervos și aparatele senzoriale (tegumente, vedere, auz).

Din endoderm derivă aparatele digestiv și respirator.

Din mezoderm derivă aparatele genito-urinar și circulator. Prin diferențierea mezodermului rezultă *mezenchimul*, din care se formează aparatul locomotor.

Aparatul locomotor se dezvoltă deci din mezoderm, membrele putînd fi considerate drept veritabile axe mezodermice, acoperite de ectoderm. Către a 3-a săptămînă, pe laturile corpului embrionului apare cîte o proeminență lineară dispusă în axa lungă a corpului, denumită *linia mamară* (fig. 11). Liniile mamare se termină la ambele capete cu cîte o proeminență în formă de paletă, care reprezintă viitoarele membre.

Către a 5-a săptămînă proeminențele sînt mai alungite și sînt împărțite în două segmente : unul proximal și unul distal. Segmentul distal care va deveni mînă sau picior prezintă la marginea sa liberă patru șanțuri longitudinale, care încep să delimiteze forma degetelor. Pînă în luna a 2-a degetele sînt reunite printr-o membrană, ceea ce face ca mîinile și picioarele să aibă un aspect palmat. Uneori această situație embrionară se poate menține și după naștere. producînd acea diformitate congenitală a mîinii denumită *sindactilie*.

Către a 6-a săptămînă segmentele proximale se împart și ele în două, formînd brațul și antebrațul la membrele superioare, și coapsa și gamba la membrele inferioare. Aceste două segmente se flectează, formînd unghiuri deschise spre trunchi (fig. 12). La membrele superioare, coatele privesc în afară, radiusul și policele înainte, iar cubitusul înapoi. La membrele inferioare, genunchii privesc în afară, tibia și halucele înainte și peroneul înapoi.

La începutul lunii a 3-a membrele superioare se rotează în afară 90°, coatele ajung să privească înapoi, fețele palmare ale mîinilor privesc înainte și policele în afară. În același timp membrele inferioare se rotează înăuntru 90°, genunchii ajung să privească înainte, fețele plantare ale picioarelor înapoi, iar halucele înăuntru. Rotația se realizează, la membrele superioare, la nivelul humerusului, os pe a cărui față posterioară va rămîne, ca o relicvă, un veritabil *șanț de torsiune*. La membrele inferioare rotația se realizează la nivelul femurului, care

va prezenta de aceea o neconcordanţă între direcţia axei longitudinale a gîtului femurului şi direcţia axei bicondiliene a extremităţii lui inferioare, ajungînd să prezinte aşa-numitul *unghi de declinaţie.*

Coloana vertebrală prezintă o dezvoltare mai complexă în afara mezodermului, la formarea ei participînd şi coarda dorsală (notocorda), de origine endodermică. Mezodermul se prezintă sub formă de lame suprapuse şi formează *provertebrele.* Notocorda este înconjurată de mezoderm şi se transformă în *corpii cartilaginoşi ai vertebrelor.* Resturi din notocordă se vor întîlni şi la adult, în nucleii pulpoşi ai discurilor intervertebrale.



Fig. 11 — Embrion cu linie mamară.

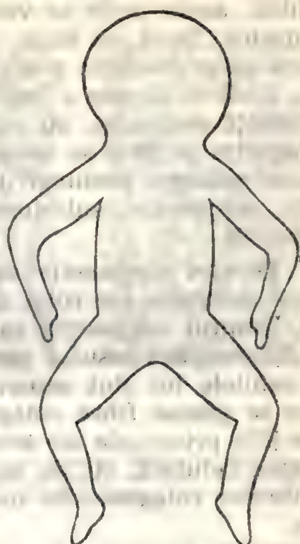


Fig. 12 — Poziţia membrelor faţă de trunchi la un embrion de 7 săptămîni.

Să urmărim, în continuare, care sînt procesele prin care apar şi se dezvoltă diversele organe ale aparatului locomotor şi anume: **oasele, articulaţiile** şi **muşchii.**

Osteogeneza. Procesul complex prin care se ajunge la formarea osului-organ poartă numele de osteogeneză. Osul, ca şi celelalte organe ale aparatului locomotor, provine din mezenchim.

Mezenchimul, după cum știm, este un țesut embrionar și apare alcătuit din celule, de o formă mai mult sau mai puțin stelată, scăldate de o substanță fundamentală primitivă fluidă. Aceste celule prezintă mișcări amiboidale și se înmulțesc foarte rapid. Substanța fundamentală primitivă capătă repede o consistență vîscoasă și numai pe alocuri rămîne aproape lichidă, acolo unde se vor dezvolta vasele sanguine și vasele limfatice. După un timp, celulele devin mai evident stelate și încep să-și dezvolte prelungiri, devenind histiocite.

Histiocitul este o celulă conjunctivă tînără, dotată cu pluripotență evolutivă, cu mișcări amiboidale și cu capacitate de a fagocita și de a se colora cu coloranți vitali *(Crăciun)*. Prin anastomozarea prelungirilor histiocitelor se formează primul *țesut conjunctiv*, sub forma cea mai simplă de *țesut mucos reticulat*.

Țesutul conjunctiv sau țesutul conectiv a primit acest nume deoarece are rolul de a conexa, de a lega organele între ele. Țesutul conjunctiv este, deci, un țesut de susținere. Ceea ce diferențiază țesutul conjunctiv de alte țesuturi este faptul că celulele lui sînt separate de o substanță fundamentală în care se găsesc fibre colagene și elastice, precum și faptul că funcțiile principale ale acestui țesut nu sînt legate atît de activitatea celulară, cît de activitatea substanței fundamentale și a fibrelor colagene. De unde vine și denumirea de *țesut colagen*.

Țesutul osos este un *țesut conjunctiv specializat*, alcătuit dintr-o parte organică și una minerală. Să încercăm să urmărim modul de formare al țesutului osos plecînd de la *țesutul mucos reticulat*, care provine din mezenchim.

Histiocitele, celulele țesutului mucos reticulat, dețin calitatea de a evolua pe linia formării oricărui tip de celulă conjunctivă matură. În zona în care urmează să se facă os, ele prezintă următoarele scheme evolutive :

Schema 1	*Schema 2*
PROFIBROBLAȘTI	PROCONDROBLAȘTI
↓	↓
FIBROBLAȘTI	CONDROBLAȘTI
↓	↓
OSTEOBLAȘTI	OSTEOBLAȘTI
↓	↓
OSTEOCIȚI	OSTEOCIȚI
↓	↓
OSTEOCLAȘTI	OSTEOCLAȘTI

Fibroblaștii sînt elemente nematurizate, de formă stelară, aflate într-un țesut conjunctiv tînăr. Ele sînt celulele care pro-

duc fibre colagene. După ce au realizat o rețea colagenă suficientă, se transformă în osteoblaşti, adică în celulele care dirijează depunerea sărurilor minerale pe suportul organic. După formarea țesutului osos, osteoblaştii se transformă în osteociți sau în osteoclaşti. Pe această schemă se realizează aşa-numita *osificare fibroasă*.

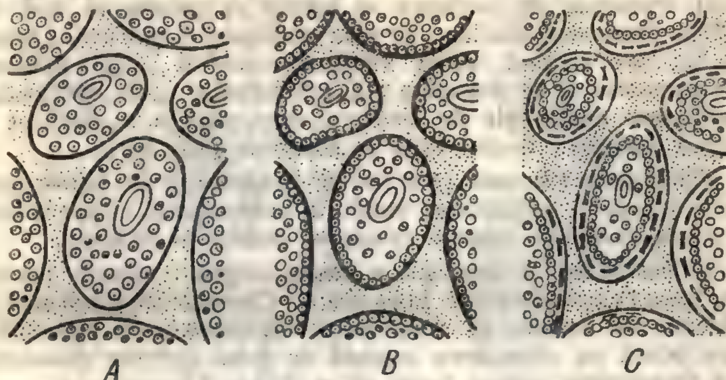


Fig. 13 — Etapele osificării encondrale :
A — cavitate medulară cu vas central osificator şi histiocite devenite osteoblaste ; B — osteoblastele se dispun în jurul cavității medulare şi formează prima lamelă osoasă ; C — se formează a doua lamelă osoasă.

Condroblaştii sînt, de asemenea, elemente nematurizate, dar cu o formă ovoidă. Şi ele se pot transforma în osteoblaşti, urmînd aceeaşi evoluție. Pe această schemă se realizează aşa-zisa *osificare encondrală* (fig. 13).

În cursul osteogenezei, al formării osului-organ, intervin ambele scheme de osificare. Osificarea encondrală este cea care predomină la oasele lungi, acestea dezvoltîndu-se pe un adevărat model cartilaginos, care precede formarea osului.

Modelele cartilaginoase ale oaselor apar în viața intrauterină, înainte de organizarea rețelei vasculare a osului. Cartilajul este lipsit de vase şi se hrăneşte prin imbibiție. Cu timpul, în modelele cartilaginoase încep să se insinueze vasele sanguine. În punctele unde aceste modele încep să fie irigate de sînge, apare transformarea țesutului cartilaginos în țesut osos, aşa-numitele *puncte de osificare*. *Digby* a formulat chiar o lege : „Primul punct de osificare apare puțin mai jos de terminația arterei hrănitoare, la un nivel ideal, acolo unde linia mediană se întîlneşte cu prelungirea direcției acelei artere",

La nivelul punctelor terminus ale vaselor rețelei arteriale epifizare apar, de asemenea, puncte de osificare.

Apariția punctelor de osificare corespunde intervenției factorilor mecanici și anume, ai dezvoltării tensiunilor hidrostatice *(Pauwels-Kummer)*. Astfel, osul lung ajunge să prezinte mai multe puncte de osificare, unul diafizar și cel puțin două epifizare (unul pentru epifiza distală și altul pentru cea proximală). Punctele de osificare se întind ca petele de ulei. Cel diafizar formează diafize, iar cele epifizare — epifizele. Singurele teritorii ce mai rămîn cartilaginoase la copiii și tinerii care continuă să se dezvolte sînt metafizele, unde continuă să funcționeze cartilajele de creștere, care pînă la închiderea lor asigură creșterea osului lung în lungime (fig. 14).

Osificarea fibroasă (periostică) predomină la oasele plate și este legată de activitatea stratului osteoblastic al periostului. La oasele lungi ea asigură creșterea osului în grosime.

Organizarea structurală a osului-organ nu este posibilă fără intervenția forțelor musculare. Cercetările efectuate pe embrioni au arătat, în acest sens, că orientarea structurală apare odată cu orientarea impusă de jocul forțelor musculare și că trabeculele osoase încep să se dispună traiectorial numai după apariția contracțiilor musculare *(Murray)*.

Artrogeneza. Articulațiile provin din aceleași modele sau mulaje cartilaginoase ori fibroase din care provin și oasele. La început ele sînt fixe (sinartroze) și sînt formate dintr-un conglomerat de celule mezenchimale, așezate între modelele fibroase sau cartilaginoase ale viitoarelor piese osoase (fig. 15). Pe măsura apariției țesutului osos în aceste machete, zona dintre cele două epifize pe cale de formare va suferi o transformare fibroasă, cartilaginoasă sau fibro-cartilaginoasă și în ea se vor face mișcări reduse, provocate de forțele mecanice (presiuni și tracțiuni). Între a 5-a și a 7-a săptămînă în cavitățile interzonale ale viitoarelor articulații, din țesutul mezenchimal, se formează sinoviala.

De îndată ce forțele de forfecare intră și ele în acțiune, în mijlocul articulațiilor vor apare mici cavități cu pereții umectați de lichid, făcîndu-se astfel trecerea spre articulațiile semimobile, spre amfiartroze (fig. 16). Cu cît aceste forțe vor crește în intensitate, cu atît mai mult se va transforma mica despicătură centrală din amfiartroză într-o cavitate virtuală, ca în *diartroze* și mobilitatea va fi mai mare.

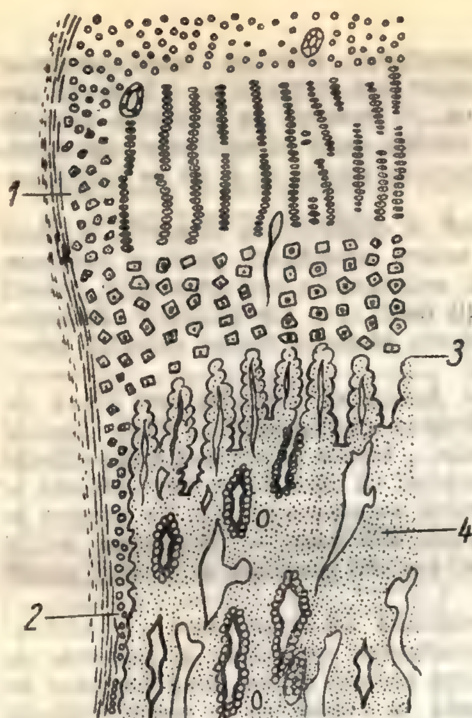


Fig. 14 — Cartilaj de creștere :
1 — țesut condroid ; 2 — pericondru ; 3 — linia de progresie a mugurilor vasculari ; 4 — țesut osos.



Fig. 15 — Secțiune longitudinală într-un deget de embrion de om, lung de 27 mm. Începe să se profileze viitoarea articulație metacarpo-falangiană.

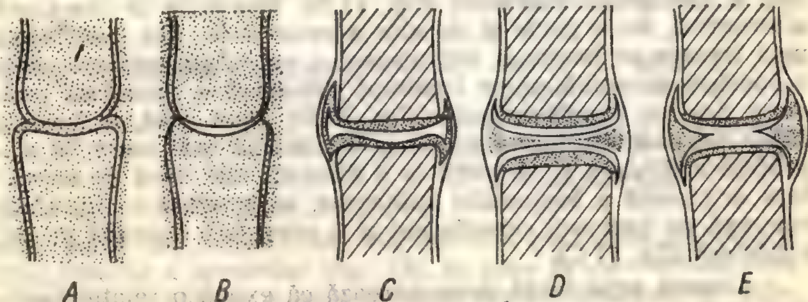


Fig. 16 — Stadiile evolutive ale diartrozelor :
A — mulajele cartilaginoase sînt în contact ; B — formarea despicăturii articulare ; C — diartroza de tip adult ; D — diartroza cu disc ; E — diartroza cu menisc.

Cînd în țesutul mezenchimal primitiv interfragmentar apare o fisură, celulele vecine ale acesteia își orientează axa longitudinală paralel cu ea. Pe măsură ce viitoarea cavitate articulară ia ființă, apar nucleii osoși ai epifizelor, iar cartilajul de încrustare sau articular începe și el să se individualizeze.

De la apariția lor pînă la desăvîrșirea creșterii, și chiar după aceea, articulațiile suferă modificări plastice continue. *Hueter* a arătat astfel că articulațiile nou-născuților posedă o altă formă și alte funcții decît cele ale adulților. Articulațiile la adulți ajung să capete anumite forme datorită intervenției factorilor mecanici.

Nivelul de inserție al mușchilor periarticulari joacă un rol preponderent în modelarea extremităților. *Fick,* frecînd — printr-o mișcare de rotație — bazele de contact a doi cilindri de ghips, suprapuși, a remarcat că dacă forța este aplicată la partea inferioară a cilindrului supraiacent, fața de contact se scobește, pe cînd a cilindrului subiacent se rotunjește. Astfel se explică dezvoltarea unei cavități glenoide și a unui condil articular.

Experiența a fost continuată de *Roud,* care a modificat distanța dintre nivelul suprafețelor articulare și punctele de inserție ale mușchilor. Pentru aceasta se iau două bastoane de lemn rectangulare, terminate la capete cu o masă realizată dintr-un amestec de piatră ponce și ghips. Cele două bastoane sînt puse cap la cap și înconjurate de un manșon de cauciuc, care reprezintă capsula articulară. Două fire de sîrmă fixate aproape de suprafața articulară a bastonului supraiacent sînt trecute pe niște scripeți fixați la distanță de suprafața articulară a bastonului subiacent (fig. 17 A). Mișcările de tracțiune alternativă, de o parte și de alta a celor două fire, realizează prin frecare pe bastonul supraiacent o suprafață concavă, deci o cavitate glenoidă, și pe bastonul subiacent o suprafață convexă, deci un condil articular (fig. 17 B). Dacă, însă, se fixează firele pe bastonul supraiacent, la o distanță mai mare de suprafața articulară și scripeții la o distanță mai mică de suprafața articulară a bastonului subiacent, se produce o suprafață convexă pe bastonul supraiacent și o suprafață concavă pe cel subiacent (fig. 17 C).

Această experiență demonstrează că există o relație funcțională între lungimea brațelor de pîrghie și forma suprafețelor articulare. Constatarea rămîne perfect valabilă în condițiile simple ale experienței, dar biologic nu se verifică totdeauna.

De exemplu, la pești, articulația aripii înotătoare cu centură prezintă cînd o cavitate, cînd un condil, deoarece geneza mecanică a articulațiilor este cu mult mai complexă, datorită intervenției unor factori biomecanici multipli.

Miogeneza. Mușchii striați ai corpului omenesc se formează tot pe seama mezenchimului, ca și oasele și articulațiile. O

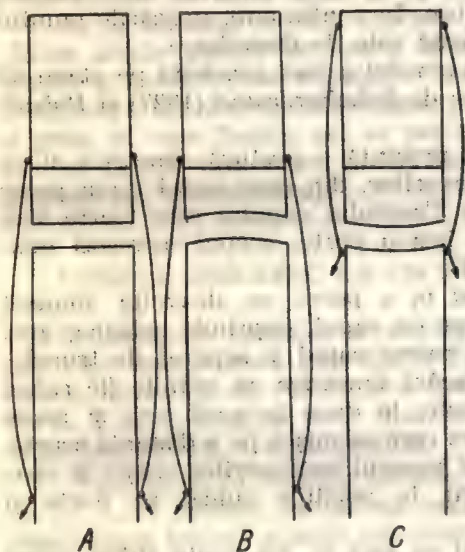


Fig. 17 — Formarea suprafețelor articulare.

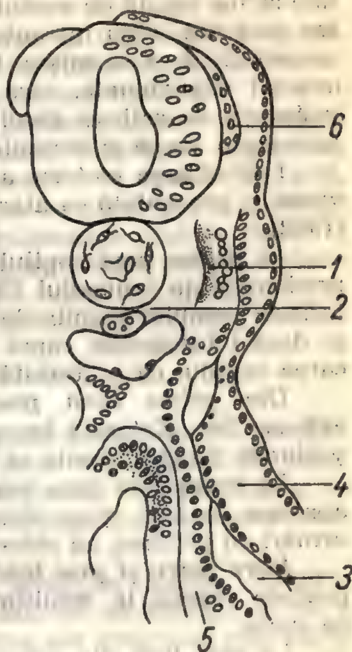


Fig. 18 — Secțiune prin extremitatea cranială a unui embrion : 1 — miotom ; 2 — sclerotom ; 3 — celom ; 4 — somatopleură ; 5 — spanhnopleură ; 6 — ganglion spinal.

bună parte din mușchi iau naștere din porțiunea mijlocie a foiței interne a *somitului* (fig. 18), în zona în care acesta vine în contact cu coarda dorsală și unde are loc procesul de diferențiere a mezodermului. Celulele din această regiune se diferențiază, luînd o formă specială, și poartă numele de mioblaste, iar întreaga regiune ia numele de *miotom* sau *miomer*. Mioto-

mele formează centurile musculare și sînt despărțite de formațiuni mezenchimatoase, numite *miosepte*, din care vor proveni despărțitoarele conjunctive ale mușchilor.

EVOLUȚIA ONTOGENETICĂ A MIȘCĂRILOR LA OM

Embriogeneza corpului omenesc și a aparatului locomotor este strîns legată de evoluția ontogenetică a mișcărilor. Copilul are încă din viața intrauterină reflexul absolut al mișcării, al necesității de a se mișca. Odată cu nașterea el face o serie de mișcări dezordonate, care reprezintă rezultatul unei simple înlănțuiri de reflexe absolute. În continuare, mișcările omului parcurg o lungă și complicată cale de dezvoltare.

Dezvoltarea motorie a omului a fost urmărită pe etape de vîrstă și prezentată ca atare de *Schaltenbrand* (1927) și *Bobath* (1962).

În prima lună copilul prezintă o postură simetrică și cu predominența tonusului flexorilor, din care cauză nu-și poate întinde complet membrele. Controlul capului este foarte slab și dacă-i întoarcem capul într-o parte, corpul urmează mișcarea capului ca o „bucată".

Din prima lună pînă în a patra se dezvoltă tonusul extensorilor. Extensia începe cu capul, cuprinde coloana, apoi șoldurile. Copilul poate să roteze capul și separat de trunchi.

La patru luni face mișcări simetrice cu mîinile (le ridică aproape de față, ține obiecte, le duce la gură etc.) și poate urmări cu privirea un obiect care se mișcă pe o distanță scurtă.

Între patru și șase luni tonusul extensorilor crește și apar primele reacții la echilibru, în pozițiile culcat pe burtă și pe spate.

La șase luni din culcat cu fața în jos poate ridica capul la verticală. Se poate ridica din culcat pe spate în șezînd. Începe să se folosească mai mult de o mînă.

Între șapte și opt luni copilul se întoarce pe spate și pe burtă, stă în genunchi și pe mîini și se poate ridica în genunchi.

Între opt și zece luni se ridică în picioare, dar la zece luni nu are încă dezvoltate reacțiile de echilibru pentru stațiunea bipedă.

La un an stă în picioare, dar nu are dezvoltate reacțiile de echilibru pentru mers și de aceea merge numai ținut de mînă. Începe să-și perfecționeze prehensiunea și să realizeze opoziția police-degete.

Între un an și un an și jumătate ajunge să meargă singur, dar cu o bază mare de susținere (mers antropoid) și nu este capabil să se întoarcă decît mergînd în cerc.

La doi ani aleargă, urcă scările, ține creionul între degete și desenează prin imitație un unghi sau un cerc.

La trei ani poate sări înapoi.

La trei ani și șase luni stă pe un singur picior, timp de două secunde.

La cinci ani copilul poate să scrie, să deseneze, să coasă, să cînte la un instrument. La această vîrstă dezvoltarea motorie atinge un nivel înalt și se consideră matură.

De la această vîrstă începe perfecționarea mișcărilor. „Între actele simple de mers, hrănire, îmbrăcare și rutină zilnică și desăvîrșirea mișcărilor necesare în muncă, în artă, în educație fizică și sport rămîne încă de parcurs o cale lungă și grea, în care fiecare act se perfecționează pînă la desăvîrșire cu prețul unui efort uneori imens, a unei munci dirijate și susținute“ *(Robănescu).*

CORPUL OMENESC CA UN TOT UNITAR

Prezentarea analitică a multiplilor factori morfo-funcționali care stau la baza exercițiilor fizice, este impusă de necesitatea didactică de reliefare a specificului fiecărui factor în parte. Studiul analitic este însă dezintegrativ, destramă unitatea funcțională a organismului.

Organismul în mișcare trebuie privit, în lumina învățăturii lui *I. P. Pavlov*, ca un tot unitar, ca un întreg, nu ca o manifestare izolată a unor mecanisme ale anumitor aparate și sisteme care ar acționa complet independent. Studiul analitic al factorilor morfo-funcționali, care stau la baza exercițiilor fizice, nu-și recîștigă valoarea reală decît dacă este urmat de reintegrarea acestor factori și a caracteristicilor în „totul“ organismului. Este firesc ca analiza didactică să fie făcută numai avînd permanent în minte sinteza reintegrativă, care să restabilească relațiile obiective dintre diverșii factori morfo-funcționali între ei, dintre factorii respectivi și organismul ca întreg și dintre organism și mediul în care se mișcă.

Rezultat al unei îndelungate filogeneze și al unei ontogeneze nu mai puțin complicate, corpul omenesc ajunge să devină organismul animal cu cele mai variate forme de mișcare.

FACTORII MORFO-FUNCŢIONALI ŞI INTERDEPENDENŢA LOR

La baza mişcărilor stau factorii morfo-funcţionali rezultaţi din mişcarea însăşi, care nu sînt alţii decît organele aparatului locomotor (oase, articulaţii, muşchi) şi organele sistemului nervos (receptorii, nervii senzitivi, măduva spinării, encefalul, nervii motori, plăcile motorii, sistemele gamma).

Organismul în mişcare trebuie privit ca un tot unitar, ca un întreg, mişcarea fiind rezultatul intrării în acţiune a tuturor factorilor morfo-funcţionali amintiţi. Intrarea în acţiune a acestor factori şi mecanismele lor de acţiune sînt stereotipe şi ele pot fi încadrate sub formă de principii.

RELAŢIILE DINTRE ORGANISM ŞI MEDIU

Organismul în mişcare trebuie privit ca un tot, ca un întreg, în strînsă interdependenţă cu mediul în care se dezvoltă şi se deplasează. Este cunoscută importanţa factorilor externi ai rezistenţei şi elasticităţii solului, acceleraţia gravităţii etc. Să mai reamintim influenţa temperaturii scăzute a mediului înconjurător asupra obţinerii unor bune rezultate, prin fenomenele de micşorare a excitabilităţii neuromusculare şi de vasoconstricţie pe care le provoacă? Sau influenţa scăderilor de presiune atmosferică asupra mişcărilor piloţilor şi cosmonauţilor?

Exemplele pot fi nenumărate şi ele arată, în mod clar, rolul pe care mediul îl are în procesele de dezvoltare şi de manifestare ale organismului şi, deci, ale factorilor morfo-funcţionali care stau la baza exerciţiilor fizice.

INFLUENŢA EXERCIŢIILOR FIZICE ASUPRA STRUCTURĂRII CORPULUI OMENESC

După cum a rezultat din prezentarea filogeniei locomoţiei, mişcarea influenţează corpul omenesc, structurîndu-l şi formîndu-l apt de a realiza mişcări din ce în ce mai complicate. Structurile corpului omenesc sînt structuri funcţionale, produse prin funcţiune, cu scopul de a crea funcţii.

Funcţia poate fi definită — după prof. *Repciuc* — ca o acţiune, ca un proces complex, a cărui caracteristică generală este aceea de a se desfăşura în timp. Forma structurii

funcționale ar putea fi definită, în același mod, ca o stare complexă a cărei caracteristică generală este aceea de a se desfășura în spațiu.

Forma și funcția nu sînt însă decît aspecte ale manifestării aceleiași unități, materia vie, și nu pot exista una fără cealaltă, așa cum mișcarea nu poate exista în afara materiei. Desfășurarea lor în timp și spațiu se condiționează reciproc, funcția creînd forma, iar forma creînd funcția. Forma deci — în ultimă analiză — nu este nici ea o stare definitiv imuabilă, ci este permanent modelată de funcție, este o formă funcțională. Acesta este, dealtfel, și înțelesul profund al definiției pe care *F. Rainer* o dă anatomiei, ca fiind „știința formei vii".

Funcția reprezintă excitantul indispensabil viețuirii materiei însăși, modul de existență al formei. Ea are, înainte de toate, valoare trofică, întreținînd forma. Valoarea trofică a excitantului funcțional nu se exercită însă direct asupra formei, ci prin intermediul sistemului nervos. Este vorba, deci, de o valoare trofică mediată.

Locomoția, mișcările segmentelor aparatului locomotor, exercițiile fizice reprezintă funcția aparatului locomotor. Factorii morfo-funcționali care îl alcătuiesc reprezintă forma lui. Intercondiționarea dintre locomoție, ca funcție, și aparatul locomotor, ca formă, este evidentă și reprezintă una dintre premisele de bază ale fundamentării științifice a rolului și importanței educației fizice.

STRUCTURAREA ȚESUTURILOR ȘI ORGANELOR SUB INFLUENȚA FACTORILOR MECANICI

Exercițiile fizice acționează asupra țesuturilor și organelor prin declanșarea unor forțe mecanice. Aceste forțe mecanice externe sînt grupate în cinci tipuri : 1) forțe de compresiune ; 2) forțe de încovoiere ; 3) forțe de torsiune ; 4) forțe de forfecare și 5) forțe de tracțiune.

Forțele de compresiune tind să deformeze țesuturile comprimîndu-le ; cele de încovoiere tind să deformeze țesuturile îndoindu-le ; forțele de torsiune tind să deformeze țesuturile răsucindu-le ; iar cele de forfecare, ce rezultă din combinarea forțelor de compresiune, încovoiere și torsiune tind să deformeze țesutul, comprimîndu-l, îndoindu-l și răsucindu-l în același timp. Toate aceste patru tipuri de forțe mecanice externe

rezultă în special din acţiunea forţelor gravitaţionale (greutatea corpului, greutatea segmentelor, greutatea obiectelor sau aparatelor cu care se lucrează etc.).

Forţele de tracţiune tind să deformeze ţesuturile, întinzîndu-le. Ele rezultă în special din acţiunea tonusului şi contracţiilor diferitelor grupe musculare.

În afara forţelor mecanice externe, asupra ţesuturilor acţionează şi o serie de forţe mecanice interne rezultate din procesele de dezvoltare ale ţesuturilor, presiunea vasculară, procesele metabolice, factorii chimici etc., a căror importanţă nu poate fi neglijată.

Ţesutul asupra căruia acţionează o forţă oarecare reacţionează printr-o contraacţiune şi intră într-o stare specială denumită *stare de tensiune, stare de eforturi unitare* sau *stare de stress*. S-ar putea afirma că forţele mecanice interne realizează o *stare de tensiune minimă*, pe cînd forţele mecanice externe realizează intrarea într-o *stare de tensiune maximă*.

Starea de tensiune creată în ţesuturi acţionează în sensul structurării funcţionale a acestora, conform cerinţelor mecanice. Structurarea funcţională apare astfel ca un rezultat al adaptărilor, sub influenţa factorilor mecanici. Structurile tisulare pot fi deci considerate drept *mecanostructuri*.

Structurarea ţesuturilor se face astfel, încît cu minimum de material ţesutul să poată oferi o rezistenţă suficientă la solicitările uzuale. Construcţiile care folosesc un minimum de material şi reuşesc să opună un maximum de rezistenţă se numesc *construcţii minime absolute*.

Ţesuturile şi organele normale sînt construcţii minime absolute, prezentînd forme, dimensiuni şi dispoziţii interioare, care, folosind un minimum de material, asigură o rezistenţă maximă la solicitările mecanice cele mai diverse. Mecanostructurile corpului omenesc apar astfel ca un rezultat al adaptărilor mecanice de-a lungul filogeniei şi ontogeniei. Unul din scopurile educaţiei fizice este acela de a întreţine aceste mecanostructuri în condiţii normale şi de a le îmbunătăţi.

SCHEMA RAPORTURILOR DE INTERDEPENDENŢĂ

Raporturile de interdependenţă dintre factorii morfo-funcţionali care execută mişcarea, sistemul nervos central ca pupitru de comandă al mişcării, totul unitar al organismului, mediul extern şi exerciţiile fizice apar deosebit de complexe.

Schematic, aceste raporturi sînt prezentate în schema de mai jos (fig. 19).

Organismul, privit ca un tot unitar, este alcătuit dintr-un număr de factori morfo-funcţionali care contribuie la realizarea exerciţiilor fizice (căi nervoase, muşchi, oase, articulaţii).

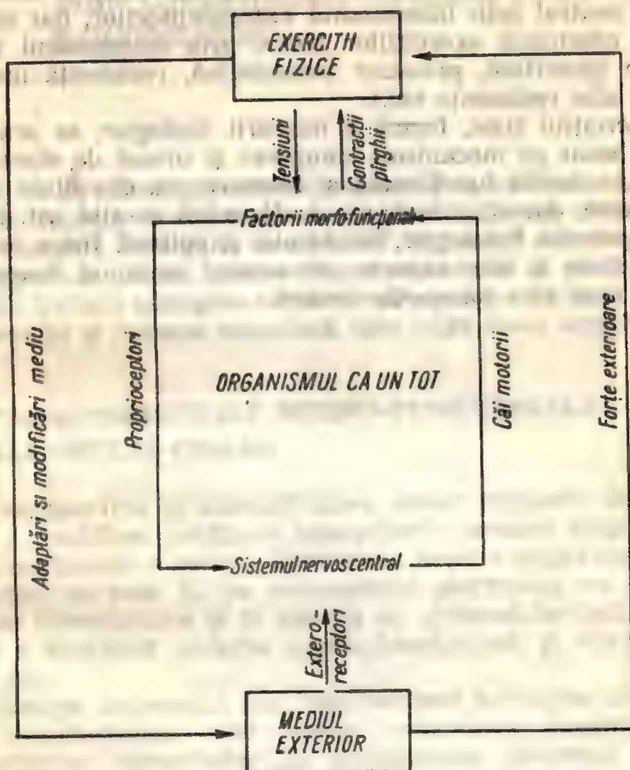


Fig. 19 — Schema interrelaţiilor dintre organism, mediu şi exerciţiile fizice.

Interdependenţa funcţională a acestor factori este asigurată de sistemul nervos central, care îi controlează prin căile sensibilităţii proprioceptive şi le dirijează acţiunile prin căile nervoase motorii.

Din coroborarea acţiunilor factorilor morfo-funcţionali (impulsuri nervoase, contracţii musculare, pîrghii osoase, mo-

bilitate articulară) rezultă exercițiile fizice. Acestea acționează prin producerea de tensiuni asupra factorilor morfo-funcționali pe care-i structurează funcțional. Pe de altă parte, exercițiile fizice intervin asupra mediului extern prin adaptarea organismului la mediu și prin modificări ale mediului. La rîndul lui mediul extern acționează în permanență asupra sistemului nervos central prin intermediul exteroceptorilor, dar și direct asupra efectuării exercițiilor fizice, prin intermediul forțelor externe (gravitate, presiune atmosferică, rezistența mediului, diverse alte rezistențe etc.).

Exercițiul fizic, formă a mișcării biologice, se arată a fi un act bazat pe mecanisme complexe și urmat de efecte complexe. Anatomia funcțională și biomecanica dezvăluie aspecte importante, dar singulare, ale desfășurării acestui act. Rămîne de competența fiziologiei, biochimiei și culturii fizice medicale să dezvăluie și alte aspecte ale acestui minunat fenomen al naturii care este locomoția umană.

CARACTERISTICILE MORFO-FUNCŢIONALE ALE ORGANELOR APARATULUI LOCOMOTOR

Aparatul locomotor, aparatul specializat care îndeplineşte funcţia locomotorie a organismului, este alcătuit dintr-un complex de organe cu structuri şi funcţii diferite. La cele 206 segmente osoase, peste 430 muşchi striaţi şi peste 310 articulaţii trebuie adăugate reţeaua nervoasă (cu căile ei aferente şi eferente) şi reţeaua vasculară care irigă toate aceste organe.

CARACTERISTICILE MORFO-FUNCŢIONALE ALE OSULUI-ORGAN

Descoperirea şi îmbunătăţirea noilor mijloace de investigaţie a modificat continuu cunoştinţele noastre asupra structurii funcţionale a osului. Cercetarea acestui organ cu ajutorul difracţiei cu raze X, cu microscopul electronic, cu diversele metode histochimice şi în special cu ajutorul izotopilor radioactivi a dezvăluit aspecte morfo-funcţionale şi dinamice cu totul noi.

Contrar aspectului său, osul nu este un organ inert. Ceea ce-l caracterizează este tocmai vioiciunea excepţională a schimburilor elementelor lui componente. Sistemul scheletic trebuie considerat ca făcînd parte integrantă din structura chimică a fluidelor corpului, la baza mecanismelor lui funcţionale stînd un servosistem de reglare ionică şi integrare, care include receptori, efectori şi fenomene de „feedback".

FORMA EXTERIOARĂ

Corpul omenesc dispune de un număr de 206 oase (fig. 20). Greutatea totală a acestora, în stare uscată, este de numai 5—6,50 kg, deoarece oasele reprezintă *construcţii minime ab-*

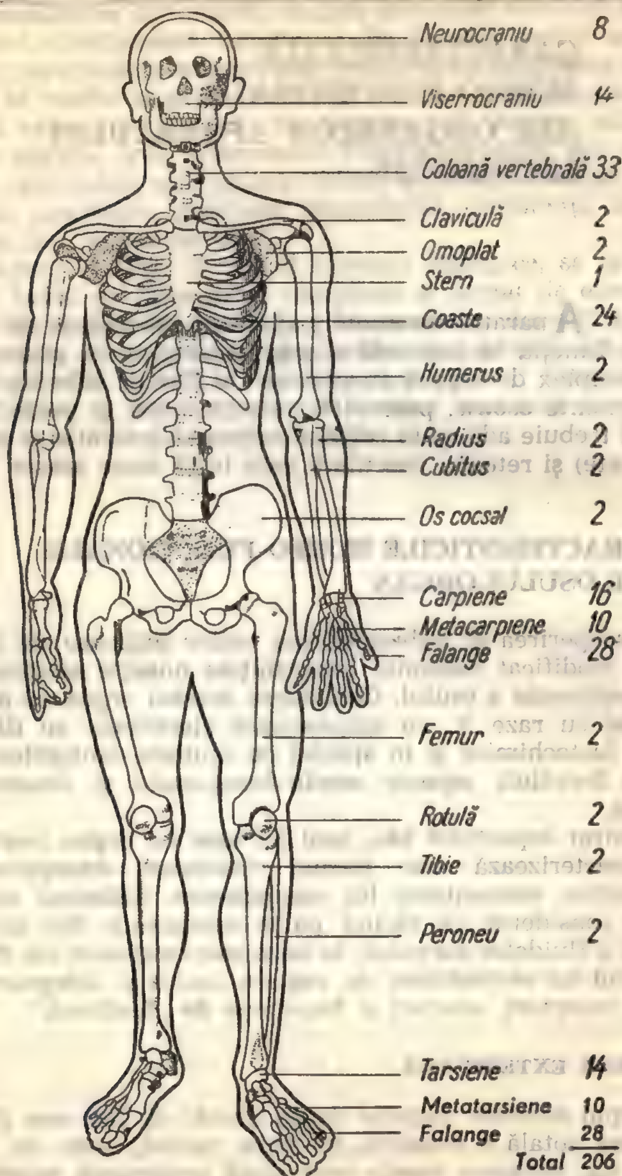


Fig. 20 — Oasele scheletului și numărul lor.

solute, construcţii care asigură o rezistenţă maximă cu material minim.

Majoritatea oaselor corpului omenesc au forme şi dimensiuni diferite, ceea ce reprezintă, de la început, un prim indiciu al relaţiilor dintre aspectul lor exterior şi funcţiile care le revin.

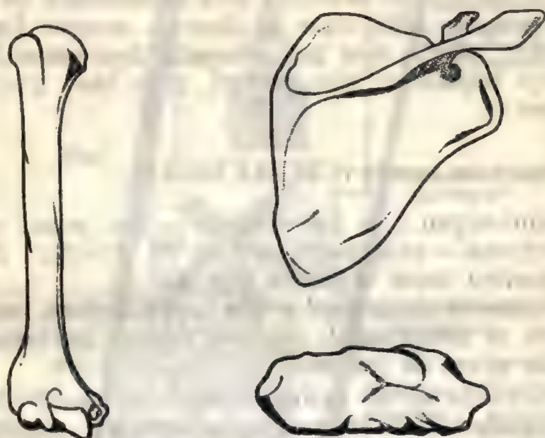


Fig. 21 — Cele trei tipuri de oase : os lung (humerus), os plat (omoplat) şi os scurt (calcaneu).

Privite în general, ele se pot împărţi în trei tipuri : oase lungi, scurte şi plate (fig. 21).

Oasele lungi sînt formate dintr-un tub de substanţă osoasă compactă, avînd în centru un canal medular şi la cele două extremităţi, mai mari ca volum, cîte un bloc de substanţă spongioasă, înconjurată de un strat de substanţă compactă. Prin intermediul lor se realizează mişcări rapide de mare amplitudine, motiv pentru care alcătuiesc scheletul membrelor.

Oasele scurte sînt blocuri de substanţă spongioasă acoperite de un strat de substanţă compactă. Rolul lor este de a suporta greutatea corpului (oasele tarsiene), de a contribui la menţinerea echilibrul intrinsec al coloanei vertebrale (vertebrele), sau de a permite executarea mişcărilor complexe şi delicate ale mîinii (oasele carpiene).

Oasele plate sînt largi şi subţiri şi participă la alcătuirea unor cavităţi care protejează organe importante (cutia cra-

niană), realizează suporturi stabile (oasele bazinului) sau oferă muşchilor suprafeţe întinse şi mobile de inserţie (omoplatul).

Indiferent de tipul lor, suprafaţa oaselor nu este perfect netedă decît în anumite porţiuni. În rest prezintă numeroase neregularităţi, linii, suprafeţe rugoase, apofize, tuberozităţi, spine etc., care servesc drept zone pentru inserţiile musculare. Forma şi dimensiunile acestora sînt dependente de forţele cu care trag grupele musculare şi direcţia acestor forţe. Tot la suprafaţa lor, oasele mai pot prezenta depresiuni în care se găsesc corpi musculari sau şanţuri, prin care trec tendoane, vase sau nervi.

ORDINELE DE STRUCTURI ALE OSULUI

Şi osului-organ i se pot descrie — din punct de vedere morfo-funcţional — cele patru ordine de structuri descrise de *Petersen* pentru toate organele (fig. 22) :

1. *Structurile de primul ordin* — arhitectura macroscopică a compactei şi spongioasei, măduva osoasă, periostul, cartilajul articular şi cel de creştere.

2. *Structurile de al doilea ordin* — sistemele haversiene, lamele circumferinţiale şi structurile similare, vasele şi nervii.

3. *Structurile de al treilea ordin* — fibrele colagene şi elastice, celulele osoase, substanţa fundamentală cu sistemul ei lacunar, sărurile minerale, apa, grăsimea.

4. *Structurile de al patrulea ordin* — dispoziţia moleculară a substanţei organice şi neorganice.

Coborîrea pe scara morfologică ne pune, de la treaptă la treaptă, în faţa unor structuri noi, cu funcţii specifice, diferite faţă de funcţiile structurilor anterioare. Aceste treceri de la un domeniu la altul nu atrag numai schimbări morfo-funcţionale cantitative, ci şi calitative. Complexele morfologice ce se pun succesiv în evidenţă de-a lungul sondajului făcut prin adîncirea structurală a osului-organ nu reprezintă o simplă sumaţie a părţilor lor constitutive. Forma caracteristică a unei trepte superioare, aşa cum remarcă *Menkeş* (1953), nu este o simplă sumă a formelor din domeniul subiacent, ci constituie o adevărată nouă calitate morfo-funcţională.

Structurile de prim ordin se pot vedea cu ochiul liber. Din observarea direcţiei traveelor osoase se poate deduce o bună parte din funcţiile biomecanice, pe care urmează să le înde-

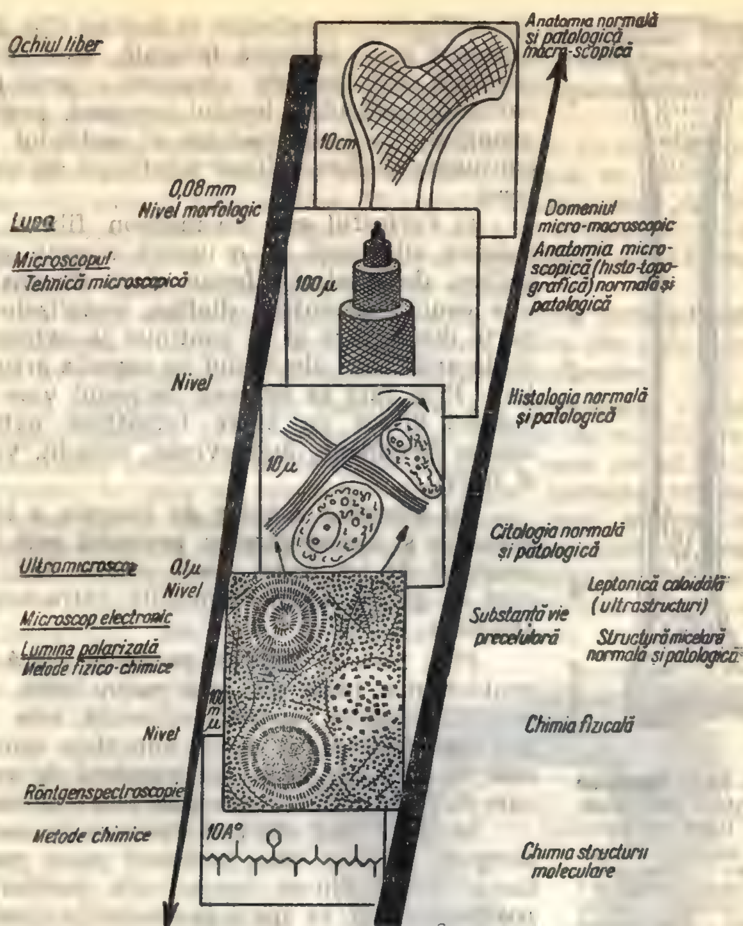


Fig. 22 — Schema etajelor structurale ale osului.

plinească segmentul de os respectiv. Structurile de primul ordin reflectă pe plan funcțional rolul de susținere pe care îl joacă osul studiat, precum și modul în care sînt exercitate asupra lui forțele mecanice.

Arhitectura structurilor de primul ordin este diferită după zona pe care o studiem. Dacă ne vom referi la un os lung, vom recunoaște cu ușurință caracteristicile macroscopice

ale epifizelor, metafizelor și diafizei (fig. 23). Urmărit pe o secțiune frontală, osul lung prezintă următoarele structuri : periostul, cartilajul articular, țesutul compact, țesutul spongios, canalul medular și cartilajul de conjugare diafizo-epifizar (cartilajul de creștere).

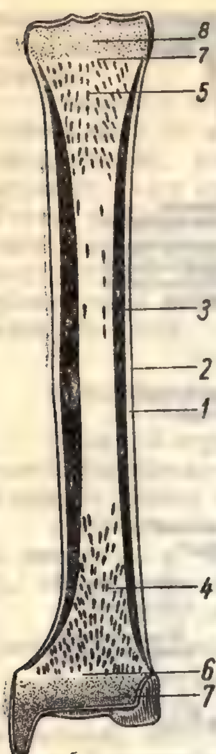


Fig. 23 — **Secțiune frontală printr-un os lung (tibie) :**

1 — diafiză ; 2 — periost ; 3 — compactă ; 4 — canal medular ; 5 — metafiză superioară ; 6 — metafiză inferioară ; 7 — cartilaj de creștere ; 8 — epifiză superioară.

a) *Periostul* este un manșon fibros de culoare albicioasă cu o ușoară nuanță spre galben, de grosimi diferite, după dimensiunile osului. Înconjură diafiza, metafizele și parte din epifize și se continuă la extremitățile articulare ale osului cu capsula articulară. Prin fața sa externă periostul vine în contact direct cu toate formațiile extraosoase (tendoane, aponevroze, mușchi, vase și nervi).

Cu excepția zonelor de inserție a tendoanelor și aponevrozelor, periostul este înconjurat de un bogat țesut celular lax, în care se găsesc toate formațiile extraosoase amintite.

Prin fața sa internă periostul intră în contact, mai mult sau mai puțin intim, cu osul. De obicei, această aderență este cu atît mai pronunțată, cu cît suprafața osoasă este mai inegală și cu cît numărul de vase care străbat periostul spre oase este mai mare.

În urma unor eforturi excesive de mers, alergare, sărituri etc., periostul poate reacționa, instalîndu-se așa-numita *periostită posttraumatică*, ce apare în special la nivelul tibiei. Mecanismul constă în congestionarea periostului, care, fiind mai bogat inervat, devine dureros.

b) *Cartilajul articular* acoperă extremitățile articulare ale osului pe o întindere egală cu amplitudinea de mișcare a articulației respective. Cartilajul normal are o culoare albicioasă-sidefie, este suplu, elastic și de grosimi variate în raport cu forțele de presiune pe care le suportă. Vom reveni asupra lui la studiul caracteristicilor morfo-funcționale ale articulațiilor.

c) *Osul propriu-zis*, care se găsește sub periost și sub cartilajul articular, este format la exterior dintr-o lamă de *țesut*

compact de grosimi diferite, în raport cu necesitățile funcționale ale osului. Țesutul compact rezultă din alăturarea mai multor lamele osoase. El este perforat de numeroase orificii, de diferite ordine, prin care trec vasele.

d) *Țesutul spongios*, de forma unui burete, cu cavități mai mari sau mai mici, umplute cu măduvă osoasă, se găsește în interiorul osului, spre epifize. El rezultă dintr-o serie de trabecule osoase diferit orientate, care intră în contact între ele în anumite puncte. Trabeculele de os spongios sînt blocuri de lamele osoase, unite prin linii de ciment.

Cu toată dispoziția spațială diferită, țesutul osos spongios se aseamănă mult cu cel compact. Totuși, între ele s-au putut pune în evidență unele deosebiri morfo-funcționale.

Cu ajutorul izotopilor radioactivi s-a demonstrat că osul spongios dispune de un potențial mai ridicat de mobilizare a elementelor componente decît cel compact, ceea ce aduce un argument în plus în favoarea observației curente că osul spongios are o capacitate de reconstrucție mai mare. Osul spongios prezintă, de asemenea, un număr mai mare de structuri slab mineralizate, ceea ce explică rezistența lui mai mică decît a osului compact. Astfel, pentru extremitatea superioară a femurului, 90% din stabilitatea mecanică a osului se datorește compactei și numai 10% spongioasei.

e) *Canalul medular* de la nivelul diafizei și metafizelor are pereții foarte neregulați și cu numeroase creste și lacune, care demonstrează activitatea de resorbție osoasă pentru crearea lui. El conține măduva osoasă, cu o structură și o fiziologie cu totul deosebite, vase și nervi.

Interpretate pe secțiune, dimensiunile canalului medular, ca și cele ale corticalei sînt legate de funcțiile mecanice (fig. 24). Între grosimea corticalei și grosimea ca-

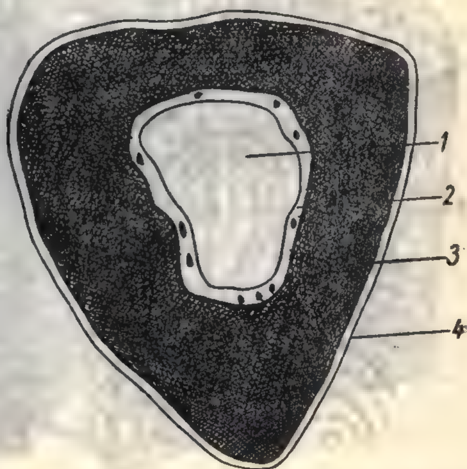


Fig. 24 — Secțiune transversală prin diafiza unui os lung :
1 — canal medular ; 2 — endost ; 3 — compactă ; 4 — periost.

nalului s-a stabilit chiar existenţa unui raport, denumit de *Radasch* „index medularis". Cu cît solicitările funcţionale cresc şi activitatea musculară este mai mare, muşchii se dezvoltă mai mult, dar odată cu aceasta se măresc şi tracţiunile asupra inserţiilor pe corticala osoasă. Corticala se dezvoltă astfel şi ea mai mult, iar indicele medular se modifică. Pentru aceste motive, indicele medular al oamenilor albi care au preocupări mai sedentare, este mult deosebit de cel al oamenilor de rasă neagră, care trăiesc mai mult în mijlocul naturii.

f) La oasele copiilor şi adolescenţilor se mai poate observa la nivelul metafizelor o structură de primul ordin şi anume *cartilajul de conjugare diafizo-epifizar* (cartilagiu de creştere), vestigiu al machetei cartilaginoase primitive a osului, cu rol bine precizat după cum am văzut la osteogeneză, în dezvoltarea oaselor, în special în lungime. Datorită proprietăţilor sale vîsco-elastice, cartilajul de conjugare diafizo-epifizar joasă însă şi un rol important în distribuirea şi atenuarea forţelor mecanice care se exercită asupra segmentelor osoase, asemănîndu-se din acest punct de vedere cu discurile intervertebrale. Calităţile vîsco-elastice ale cartilajului încep să descrească spre vîrsta pubertăţii (*Bright* şi colab., 1974)

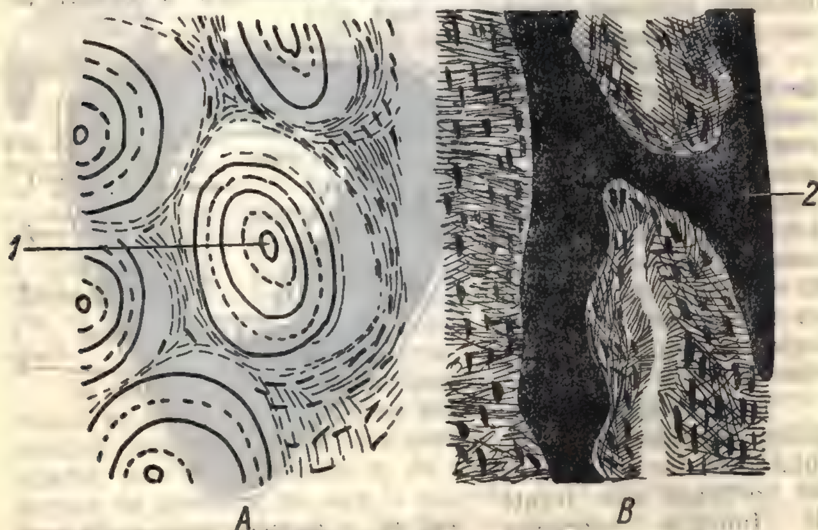


Fig. 25 — Ţesut osos pe secţiune transversală (A) şi longitudinală (B) : 1 — sistem haversian ; 2 — anastomoza a două canale haversiene.

și practic toate cartilagiile se închid și se osifică pînă la 18 ani, contribuind la formarea metafizelor osoase.

Structurile de al doilea ordin au dimensiunea de aproximativ 100 microni ; se pun cu greu în evidență cu lupa și numai incomplet, dar apar bine individualizate prin examenul microscopic uzual.

a) *Lamelele osoase* care participă la alcătuirea țesutului osos compact și spongios ne apar formate din sisteme haversiene (fig. 25). În secțiunea transversală aceste sisteme apar perforate de canelele lui *Havers*, de obicei rotunjite și în număr de 5—100 pe mm². În secțiunea longitudinală, canalele Havers apar foarte lungi, largi de 100—400 microni și se anastomozează între ele, în grosimea diafizei, deschizîndu-se, de asemenea, atît în cavitatea medulară a osului, cît și la suprafața lui, subperiostal (fig. 26). Canalele haversiene au

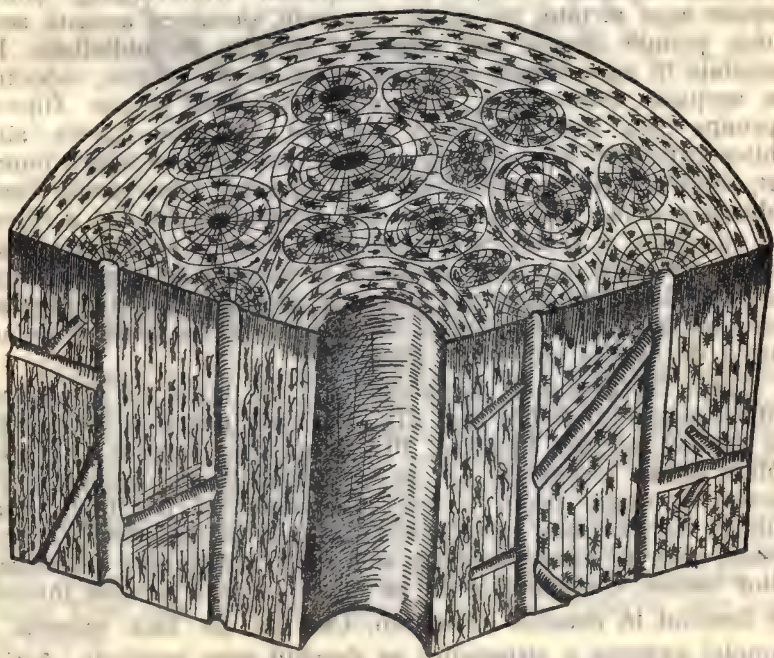


Fig. 26 — Secțiune transversală și longitudinală printr-un os lung. Se observă sistemele haversiene cu canalele haversiene, care comunică între ele. În centru, canalul medular.

în general un conținut asemănător cavității medulare : o arteră și una sau mai multe vene subțiri, nervi vasomotori, măduvă și vase limfatice în canalele mari sau spații limfatice perivasculare în canalele mici.

În jurul canalelor lui *Havers* sînt dispuse concentric o serie de lamele cu dimensiuni de 5—10 microni. Lamelele ne apar alternativ striate (anizotrope) și punctate (izotrope), datorită organizării lor structurale diferite și de aceea au primit denumiri diferite. Cele anizotrope au mai fost denumite fibroase, compacte, sau fibrilare ; iar cele punctate intermediare, difuze sau cimentate. Alternanța lamelelor dă sistemului haversian un aspect stratificat caracteristic.

Organizarea structurală diferită a sistemelor haversiene se datorește, pe de o parte, orientării diferite a fibrelor și, pe de altă parte, eterogenității lamelelor. Deși în ambele tipuri de lamele fibrele colagene se răsucesc în spirală în jurul canalului central, totuși, pe secțiunea transversală, unele lamele apar striate, iar altele punctate, deoarece această secțiune prinde fibrele sub unghiuri diferite de oblicitate. În lamelele în care fibrele sînt mai puțin de 45° oblice, aspectul pe secțiune este striat, deoarece secțiunea prinde fibrele aproape de-a lungul lor ; în lamelele în care fibrele sînt oblice între 45° și verticală, aspectul pe secțiune apare punctat, deoarece fibrele sînt secționate aproape transversal. Deosebirea provine însă nu numai din orientarea diferită a fibrelor colagene, ci și din cantitatea lor. Lamelele striate sînt mai bogate în fibre colagene, de unde și numele de lamele fibrilare, iar lamelele punctate sînt mai sărace în fibre colagene, dar mai bogate în substanță fundamentală, de unde și denumirea de lamele cimentate *(Rouiller)*.

Atît în grosimea lamelelor, cît și între ele se găsesc osteoplastele lui *Robin* (fig. 27), care apar negre la microscop, au 20—30 microni lungime, 10—15 microni lărgime și conțin celule osoase (osteocite). De pe fețele turtite ale osteoplastelor pleacă în unghi drept o serie de canalicule flexibile, lung, subțiri, de mărimea aproximativă a unui micron, foarte ramificate, care se anastomozează strîns cu canaliculele osteoplastelor vecine. Canaliculele de pe fața internă a lamelei interne se deschid în canalul haversian. Cele de pe fața externă a lamelei externe a sistemului se deschid spre periferie. Astfel arhitecturat, un sistem haversian se aseamănă cu o rețea ale cărei noduri sînt reprezentate de osteoplaste.

Un grup de lamele concentrice cu canalul lor central, osteoplastele cu osteocitele lor, reţeaua de canalicule interlamelare cu stratul celular care le căptuşeşte ; conţinutul vascular, nervos şi medular al canalului central şi al canaliculelor formează *osteonul*, unitatea funcţională a ţesutului osos. Elementele osteonului sînt în strînsă interdependenţă funcţională şi corelaţie cu tot restul organismului.

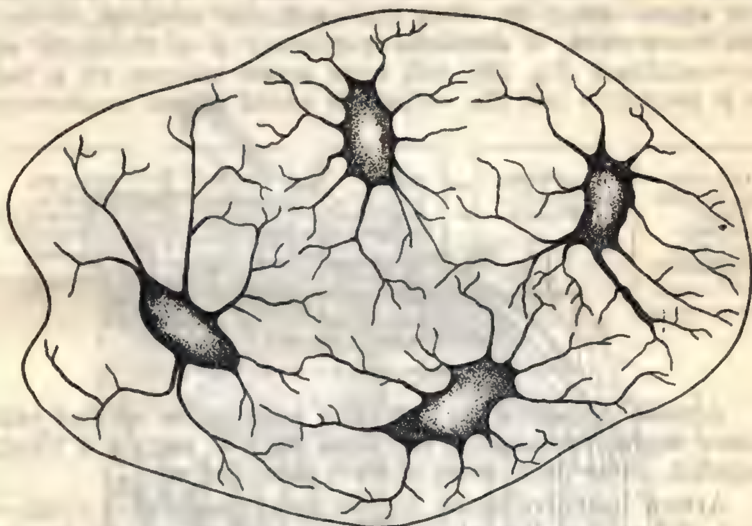


Fig. 27 — Osteoplastele şi canaliculele lor sinuoase.

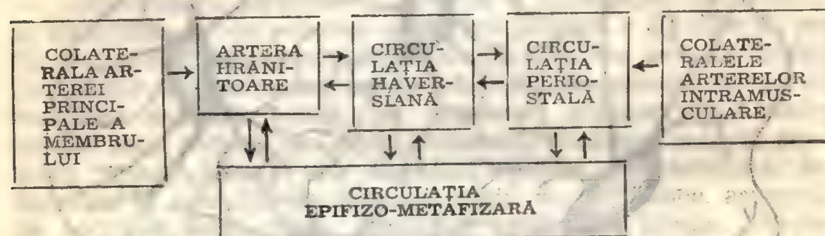
Osteonul poate fi considerat ca avînd o structură identică unei diafize în miniatură, forma sa fiind neregulat cilindrică, iar structura arborigenă. Diametrul osteonului la exterior este de 150 microni, iar al canalului central de aproximativ 20 microni. Lungimea este de mai mulţi milimetri.

Osteonii reprezintă, în ultimă instanţă, unităţile la nivelul cărora se realizează schimburile între osul propriu-zis şi fluidele corpului. Ei sînt într-o continuă remaniere, lamelele interne fiind cele care se formează, iar cele externe cele care se resorb.

Reînnoirea histologică a osteonilor se realizează în cel mult 6 luni. Depunerea suportului protidic preosos al unui osteon, determinată cu ajutorul radiosulfului S^{35} şi prin mar-

carea straturilor calcificate cu plumb detectat histochimic, durează circa 6 săptămîni, iar osificarea suportului protidic durează şi mai mult.

b) *Reţeaua vasculară osoasă*, reprezentată de artere, vene şi vase limfatice, este în strînsă legătură cu reţelele vasculare ale ţesuturilor vecine. După ce bariera constituită de cartilajul de conjugare dispare, reţelei arteriale i se pot descrie patru sisteme circulatorii mai importante : o arteră hrănitoare, care aduce osului 50—70% din cantitatea de sînge, o circulaţie haversiană, o circulaţie periostală şi o circulaţie epifizo-metafizară (fig. 28). Atît între aceste sisteme, cît şi între ele şi ţesuturile moi din vecinătate există strînse anastomoze :



Această dispoziţie cu puternice anastomoze explică capacitatea osului traumatizat sau lezat de a-şi asigura o irigaţie sanguină, chiar dacă unele sisteme sînt distruse.

Artera nutritivă intră în cavitatea medulară printr-un canal oblic situat lateral, la mijlocul diafizei, şi se împarte într-un trunchi ascendent şi unul descendent. Trunchiurile ascendente şi descendente au forme deosebite. Uneori sînt unice, situate central şi nu se ramifică decît foarte proximal. Alteori se împart în două, trei sau patru ramuri, care se îndreaptă către suprafaţa internă a corticalei. Trunchiurile arteriale medulare se împart aici în numeroase ramuri care pătrund în cele două treimi interne ale corticalei. Treimea externă a corticalei rămîne astfel irigată de reţeaua periostală. Numeroase vase mici străbat toată corticala şi fac astfel legătura între reţeaua medulară şi cea periostală. Reţeaua medulară proximală nu se anastomozează prin ramuri largi cu arterele epifizare superioare, în schimb, între trunchiurile medulare descendente şi arterele epifizare inferioare există o strînsă reţea anastomotică. Atît în partea proximală a cavi-

tății medulare, cît și în cea distală există o rețea fină anastomotică între ramurile arteriale medulare, metafizare și epifizare.

Dispoziția sistemului venos diferă complet de aceea a sistemului arterial. Venele oaselor lungi sînt rar satelite ale arterelor. În afara a două venule care însoțesc artera hrănitoare, cea mai mare parte a venelor osoase, de orice origine ar fi ele, se îndreaptă spre epifize, de unde ies din os prin orificiile de ordinul al doilea și prezintă la ieșire un calibru

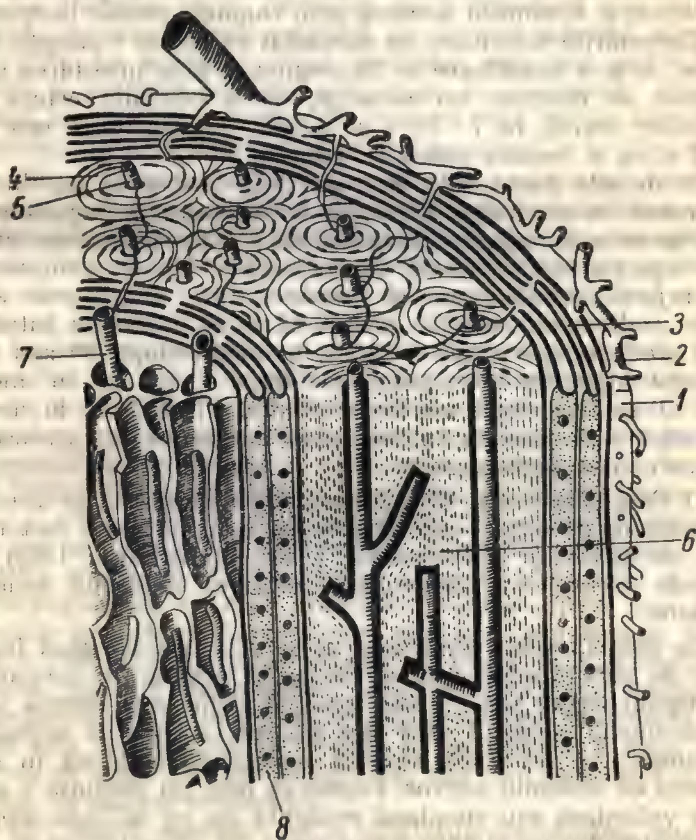


Fig. 28 — Vascularizația osului :

1 — periost ; 2 — rețeaua periostală ; 3 — lamele circumferențiale externe ; 4 — sistem haversian ; 5 — rețea haversiană ; 6 — compactă ; 7 — rețea medulară ; 8 — lamele circumferențiale interne.

considerabil în comparație cu cel al arterelor corespunzătoare. Drenajul sîngelui venos se face, deci, în cea mai mare parte, la nivelul epifizelor.

În ceea ce privește *viteza de circulație sanguină intraosoasă*, experiențele mai vechi tindeau să demonstreze că ea este foarte lentă, teoretic considerîndu-se că această stază ar fi favorabilă schimburilor celulare. Încetineala circulației intraosoase a fost explicată, la acea dată, prin scăderea tensiunii arteriale și pierderea caracterului pulsatil al arterei hrănitoare, datorită flexuozităților sale înainte de a pătrunde în os, precum și drumului acesteia prin canalele osoase inextensibile. Cercetările ulterioare au constatat că aceste concepții sînt greșite. Artera hrănitoare se impregnează prin injectarea substanțelor de contrast intraarterial, ca și celelalte artere ale mușchilor vecini, în 7—10 s și durata de opacifiere este tot de 15 s, ca și pentru celelalte artere.

Pe de altă parte, este de mult timp cunoscută rapiditatea de trecere în circulația generală a substanțelor injectate în măduva osoasă, injecția intramedulară comportîndu-se exact ca o injecție intravenoasă. Experiențele făcute comparativ prin injecții intravenoase și intramedulare, cu diferite substanțe medicamentoase, au arătat că după injecțiile intravenoase efectele apar după 8—13 s, în medie după 10 sau 9 s, iar după injecțiile intraspongioase după 7—13 s, în medie după 11 s, deci după un timp identic. Plecînd de la aceste constatări s-a ajuns la introducerea anesteziei intraosoase și a transfuziilor intravenoase.

c) Osul dispune și de o bogată *rețea nervoasă*, prezentînd și o serie de receptori care acționează sub influența factorilor locali de presiune (*Iarosevschi*, 1946 ; *Scherman*, 1963) de asistența cărora este dependentă reglarea debitului sanguin intraosos.

La prima vedere osul pare că se află într-un grad foarte redus de subordonare față de sistemul nervos în comparație cu mușchii striați sau cu alte țesuturi, cum ar fi țesutul neuromuscular al cordului, care și-a păstrat — chiar la animalele superioare — o activitate ritmică, spontană, modelată în permanență de sistemul nervos. Faptul că osul nu prezintă o activitate voluntară sau spontană evidentă nu ne dă însă dreptul să-l considerăm un simplu organ pasiv, în afara influenței sistemului nervos. Aceasta cu atît mai mult, cu cît osul-organ stă pe același plan cu celelalte organe în ceea ce privește capacitatea lui de influență asupra sistemului nervos, sistemul ner-

vos central avînd o activitate subordonată multiplelor excitaţii provenite din totalitatea mediului intern.

Structurile de al treilea ordin se pot observa numai cu microscopul, avînd dimensiuni în jurul a 10 microni.

a) *Periostul* prezintă la examenul microscopic aspecte deosebite. Se recunosc trei straturi histologice : unul extern, adventicial, care are numai un rol de hrănire şi de apărare ; unul fibros, intermediar şi unul intern, cambial, denumit şi „stratul osteoblastic" sau „stratul proliferativ".

La animalul tînăr, periostul are o structură mai mult fibroasă, vasculară, decît celulară, iar stratul cambial este bine dezvoltat. La animalul adult, periostul este mai puţin fibroblastic şi vascular şi aderă mai mult la compactă, deoarece stratul cambial se resoarbe. El reapare însă ori de cîte ori se produce o leziune traumatică sau inflamatorie la nivelul osului.

Dinspre stratul extern al periostului către cel intern se produce o mutaţie celulară de la fibrocit la osteoblast ; cum stratul osteoblastic este în vecinătatea stratului osteoid, cu celule distanţate, dar bine conturate, prevăzute cu prelungiri filiforme, se poate bănui că o a doua mutaţie celulară se produce de la osteoblast la osteocitul tînăr.

b) *Arterele hrănitoare şi periostale* au cele trei tunici obişnuite, iar toate celelalte vase sînt capilare, reduse la stratul lor endotelial. Vasele intramedulare au la început forma şi calibrul capilarelor ordinare, apoi se dilată în sinusuri, ele reprezentînd o varietate a capilarelor embrionare.

Interpunerea sistemului sinusoidal al vaselor între arteriole şi vene creează în vene o forţă „vis a tergo" suficientă la care se adaugă şi contracţiile muşchilor periosoşi. Dacă muşchii sînt scoşi din funcţiune, sistemul sinusoidal şi venos se stranguleazǎ, tonusul muscular normal fiind un factor mecanic important al circulaţiei sanguine intraosoase. Suprimarea tonusului muscular atrage, de aceea, ca o repercusiune directă, apariţia osteoporozei. Aşa se instalează osteoporoza la sedentari şi la poliomielitici. *O activitate musculară normală este cea mai bună metodă de menţinere a unui aport normal de sînge în oase şi, deci, cel mai bun diriguitor al proceselor de osificare-resorbţie.*

c) *Canalul medular*, ca şi cavităţile spongioase, este căptuşit de o membrană fibro-celulară, *endostul*, care are proprietăţi asemănătoare periostului. Endostul se modifică şi el în raport cu vîrsta, proporţia de celule componente şi de vase

scăzînd cu anii. La tineri, endostul este ataşat de os prin nenumărate fibrile, ce formează arcade reticulare.

Sistemul de canale ale compactei, căptuşite şi ele de un strat celular asemănător, face ca periostul să fie în continuitate cu endostul prin acest strat.

d) La nivelul ţesutului osos, examenul microscopic pune în evidenţă existenţa concomitentă a trei tipuri de celule: *osteociţii, osteoblaştii* şi *osteoclaştii.*

Osteociţii, celule osoase incluse în osteoplastele substanţei fundamentale, sînt mici, au corp citoplastic alungit cu limite nete, nucleu oval, destul de mare, hipercromatic şi niciodată în mitoză. Ei prezintă numeroase expansiuni, care iradiază în toate direcţiile şi se anastomozează cu prelungirile celulelor osoase vecine sau cu prelungirile celulelor conjunctive ale periostului şi măduvei.

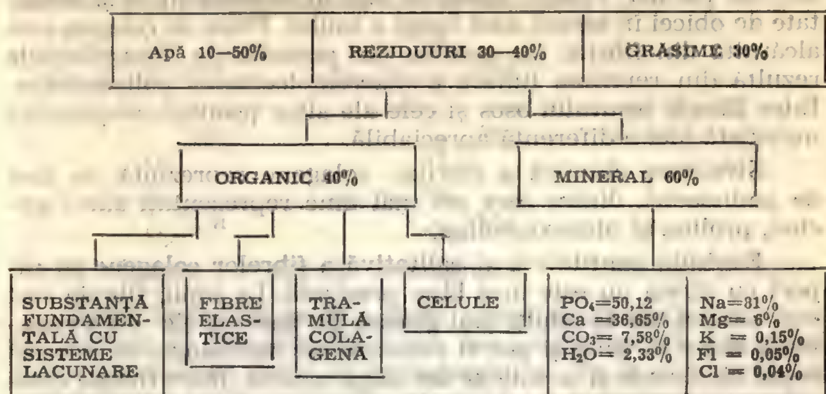
Pînă nu de mult se considera că osteociţii nu participă la formarea de os, deoarece fiind un produs final şi-au pierdut puterea de proliferare, dispun de un metabolism puţin ridicat şi nu au nici un rol la regenerarea osoasă, putînd fi consideraţi drept „paraziţi ai ţesutului osos". Numai în anumite condiţii se pot transforma în osteoblaşti şi atunci metabolismul lor creşte, iar substanţa osoasă care le înconjură se reîntoarce la starea de ţesut conjunctiv tînăr. În prezent activitatea lor este reconsiderată şi ne vom referi la ea cînd vom vorbi despre unitatea metabolică a ţesutului osos.

Osteoblaştii au forme şi dimensiuni variabile între 15—18 microni lungime. De obicei sînt fuziformi, au un nucleu mare, rotund sau oval, situat spre o extremitate a celulei, care apare astfel mai mărită, şi o citoplasmă abundentă. Structura osteoblastului şi a conţinutului său bogat în acizi ribonucleici şi enzime (fosfataze) prezintă această celulă ca foarte activă.

Osteoclaştii sînt elemente voluminoase, veritabile plasmodii multinucleate, ai căror nuclei (10—13) se adună în centrul corpului citoplastic. Studiile prin secţiuni în serie pe trei dimensiuni, cu ajutorul microscopului electronic, au arătat că osteoclastul prezintă o margine striată către zona unde contactul dintre celulă şi os este maxim. Această margine acţionează în sensul resorbţiei osoase.

Structurile de al patrulea ordin. Dispoziţiile moleculare ale substanţelor organice şi anorganice reprezintă ultima treaptă a etajelor structurale ale ţesutului osos. Proporţia aproxima-

tivă în care aceste substanţe intră în alcătuirea ţesutului osos lamelar de tip fibros este reprezentată de următoarea schemă :



La nivelul ţesutului osos se mai găsesc şi o serie de hormoni, vitamine şi enzime, dintre care cea mai importantă este fosfataza alcalină osoasă. Vom descrie, tot sumar, în continuare dispoziţia moleculară şi rolul diverselor substanţe care participă la alcătuirea ţesutului osos.

a) *Substanţa fundamentală* se prezintă sub forma unui gel protidic foarte vîscos, fără structură, alcătuit din aminoacizi, dintre care cei mai bine reprezentaţi sînt : glicocolul, alanina, prolina şi acidul glutamic.

Cercetările histochimice au arătat că substanţa fundamentală a ţesutului osos reprezintă un ansamblu de complexe macromoleculare polizaharido-proteinice, alcătuite din mucopolizaharide (MPZ) şi proteine.

Proteinele care iau parte la formarea complexelor macromoleculare polizaharido-proteinice sînt proteine fibrilare insolubile, compuse din aminoacizi. Aminoacizii alcătuiesc lanţuri de polipeptide, care se unesc longitudinal, dînd o structură fibrilară substanţei fundamentale. Mucopolizaharidele sînt reprezentate în special de acidul condroitin-sulfuric.

Concentraţia de MPZ depinde de starea evolutivă a ţesutului şi de vascularizaţia lui. Studiile făcute asupra osteogenezei au arătat că în zonele de alungire a oaselor, ca şi în focarele de fractură cantitatea de MPZ creşte.

Substanţa fundamentală prezintă şi un important sistem lacunar.

b) *Colagenul,* care formează rețeaua de fibre colagene, este o proteină liniară, insolubilă, cu macromoleculele filamentoase dispuse paralel. Fibrele colagene sînt abundente în os și orientate de obicei în sensul axei lungi a osului. Fibra de colagen este alcătuită din fibrile, iar acestea din protofibrile. Protofibrilele rezultă din reunirea liniară a macromoleculelor polipeptidice. Între fibrele țesutului osos și cele ale altor țesuturi conjunctive nu există nici o diferență apreciabilă.

Structura chimică a fibrilei colagene reprezintă un lanț de aminoacizi, dintre care cei mai bine reprezentați sînt : glicina, prolina și hidroxiprolina.

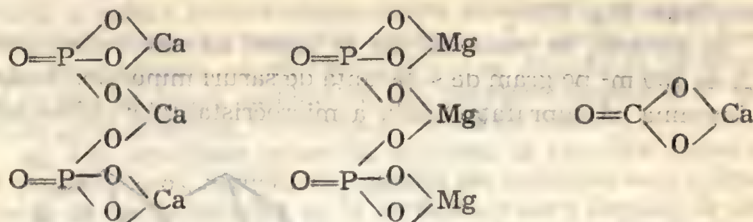
Evoluția cantitativă și calitativă a fibrelor colagene în raport cu vîrsta nu este încă bine precizată. La copii, fibrele sînt mai subțiri, iar la adulți mai groase. Se pare că ele au o rezistență mare în timp și pot fi recunoscute morfologic cu microscopul electronic și la sute de ani după moarte. Între fibrele colagene și substanța fundamentală se pare că există unele spații submicroscopice prin care circulă un lichid liber, și prin care pot difuza ioni și chiar mici molecule. Rețeaua fibrelor colagene arată astfel că joacă nu numai un rol mecanic de susținere, ci servește și ca un conducător pentru schimburile de substanțe.

c) *Fibrele elastice* nu prezintă nici ele vreun caracter particular față de cele ale celorlalte țesuturi conjunctive. Sînt izotope, cînd sînt destinse, și birefringente, în sensul axei, cînd sînt întinse. Deci, miceliile formate de ele nu sînt orientate în repaus, ci numai sub influența forțelor exterioare. Sînt compuse din elastină. Elastina conține aceiași acizi aminați, ca și colagenul, însă în alte proporții, leucina găsindu-se în mare cantitate, aproape ca și glicocolul.

d) *Sărurile minerale* ale osului au o dispoziție și o structură care continuă să fie discutată. Analiza chimică elementară a sărurilor osoase a dus la stabilirea următoarei compoziții, astăzi general admisă care se întîlnește la toate speciile de animale :

Fosfat tricalcic	**74,60%**
Carbonat de calciu	**10,40%**
Fosfat bisodic	**2,46%**
Citrat de calciu	**2,00%**
Carbonat de magneziu	**1,03%**
Fosfat trimagnezian	**0,93%**
Ca^{++} și $PO_4^{\equiv}$ legat de proteine	**8,76%**

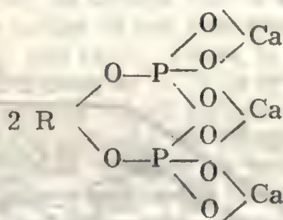
Formulele experimentale, verificate „in vitro“, ale fosfatului tricalcic $(PO_4)_2Ca_3$, ale fosfatului de magneziu $(PO_4)_2$ Mg_3 și ale carbonatului tricalcic CO_3Ca sînt următoarele :



Fosfat tricalcic   Fosfat de magneziu   Carbonat tricalcic

Avînd în vedere, pe de o parte, faptul că din analizele făcute se constată și prezența fluorului, iar calciul există sub două forme asociate de fosfat și de carbonat, și, pe de altă parte, că apatitele (minerale ale rocilor naturale) au o compoziție asemănătoare s-au făcut apropieri între aceste două feluri de substanțe și s-au propus diferite formule.

Diversele apatite naturale pot fi reprezentate prin formula generală R_2 $(PO_4)_2Ca_3$ sau dezvoltat :



După cum gruparea R este reprezentată de Fl, Cl, OH sau CO_3Ca se va obține fluoroapatită, cloroapatită, hidroxiapatită sau carbonatoapatită.

Cercetările microcristalografice arată că „in vitro“, materialul mineral în stare de osificare definitivă se prezintă ca un conglomerat de microcristale de fosfat tricalcic, de fosfat trimagnezian, de carbonat calcic și de carbonat sodic, de care sînt legați fluorul și elementele apei. Experiențele cu izotopii radioactivi ai fosforului și calciului au stabilit realitatea prezenței unității acestui fosfat tricalcic alfa (hidratat) complex.

Odată stabilit faptul că sărurile osoase se găsesc în stare cristalină deoarece difractă razele X, s-a încercat să se calculeze dimensiunile și suprafața microcristalitelor cu microscopul elec-

tronic. S-a ajuns astfel să se aprecieze că microcristalitele au dimensiuni între 200—700 Å lungime şi 30—50 Å lăţime şi sînt constituite dintr-un număr oarecare de unităţi cristalografice hexagonale (fig. 29).

În general, se poate afirma ca suprafaţa microcristalitelor ar fi de 130 m² pe gram de substanţă de săruri minerale. Aceasta ar însemna că suprafaţa totală a microcristalitelor scheletului

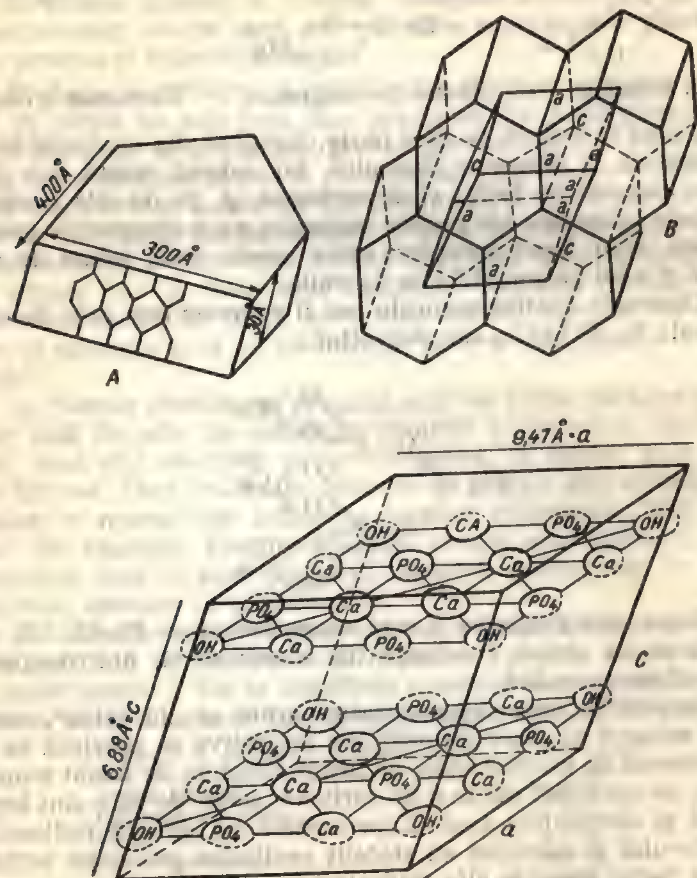


Fig. 29 — **Microcristalitele sărurilor minerale osoase :**
A — fragment dintr-un cristal de hidroxiapatită ; B — grupe de hexagoane mărite ; C — dispoziţia atomilor dispuşi pe două planuri de hexagon.

unui om de 70 kg reprezintă 400 000 m^2, ceea ce favorizează foarte mult schimburile și fenomenele de absorbție.

În cadrul procesului continuu de osificare microcristalitele sărurilor minerale intră în relație cu elementele organice. Mecanismul și natura interrelațiilor dintre elementele anorganice și cele organice nu sînt încă bine precizate. S-a putut stabili însă, pînă la ora actuală, că microcristalitele se orientează preferențial cu axa lor lungă paralelă cu axa fibrelor colagene și în special în jurul acestora, formîndu-se un fel de teacă.

e) *Apa* constituie solventul principal al sărurilor minerale ale țesutului osos. Structurile celulare ale țesutului osos și fenomenele de permeabilitate de la nivelul acestora depind, de asemenea, de apă, care constituie elementul fundamental al mediului intern al organismului.

Conținutul în apă al țesutului osos este variabil în jurul a 10—50%. Corticala conține mai puțină apă decît spongioasa. În comparație cu alte țesuturi, cel osos are deci o cantitate relativ mică de apă, fiind al doilea — din acest punct de vedere — după țesutul adipos.

Conținutul în apă al țesutului osos descrește odată cu vîrsta. Astfel, corticala la cîinii nou-născuți conține 73% apă, în timp ce la cîinii bătrîni ajunge să conțină numai 21%.

Cercetările făcute cu izotopi radioactivi, prin injecții intravenoase cu D_2O, au arătat că apa este elementul pe care țesutul osos și-l schimbă cel mai rapid. Astfel, în 4 ore se schimbă peste 90% din apa țesutului osos, iar în 24 de ore se schimbă toată apa.

Țesutul osos prezintă relații strînse cu fluidele și schimburile sînt ușor posibile (schema lui *(Engström)*. Transformările și schimburile de ioni se bazează pe procese fizico-chimice locale, dar sînt susținute și reglate de procese biologice complexe, printre care pe primul plan stau controlul neuro-hormonal și activitatea celulară.

Mărimea apreciabilă a suprafeței totale a microcristalitelor, în raport cu masa, asigură cristalelor osoase o intensă activitate energetică. S-a arătat în acest sens că în zonele externe ale cristalelor, Ca^{++}, $PO_4^{\equiv}$ și H^+ se găsesc sub formă de ioni și nu sînt legați molecular de restul cristalului, ceea ce exercită o puternică forță de atracție asupra unei întregi serii de ioni, care se găsesc în imediata vecinătate a cristalelor (Ca^{++}, $PO_4^{\equiv}$, $CO_3^{=}$, Mg^{++}, Na^+, K^+, H^+, OR) și care ajung să alcătuiască o „coroană hidratată ionizată“ în jurul cristalelor.

Între „coroana hidratată ionizată“ și lichidele interstițiale se găsește o zonă denumită labilă, deoarece la nivelul ei ionii

de la periferia cristalului osos își pierd coeziunea dintre ei și intră în contact cu lichidele extracelulare.

Toate aceste fapte demonstrează odată mai mult că osul nu are numai funcții mecanice și că el participă intens la reglarea homeostazică a compoziției ionice a fluidelor circulante ale corpului.

f) *Fosfataza alcalină osoasă.* Din punct de vedere al structurii, fosfataza alcalină, cea mai importantă enzimă a osului, este o fosfomonesterază, care are ca substrat esterul hexozomonofosforic. Ea ar acționa la un pH optim (9,5), în prezența Mg^{++}, considerat drept un activator necesar.

În țesutul osos matur se pune în evidență o modestă activitate fosfatazică la nivelul periostului (osteoblaste, capilare și cîteva fibre) și endostului (cu prelungirile lui în canalele haversiene), precum și la nivelul osteocitelor celor mai superficiale. La nivelul unde țesutul osos se remaniază, nu numai osteoblastele (nucleul, citoplasma și canaliculele lor care încep să fie înglobate de os), dar și substanța fundamentală devine fosfatazo-pozitivă. S-a constatat o interdependență între prezența fosfatazei și activitatea tisulară. Relativ bogate cantități de fosfatază se găsesc de asemenea în osteocitele active.

PROCESELE BIOFIZICE ALE OSULUI

După cum am văzut, osul este un organ în continuă remaniere. Elementul pe care el și-l schimbă cel mai repede este apa. Reînnoirea histologică a osteonilor durează, în medie, 6 luni. Depunerea suportului organic al lamelelor osoase durează 6 săptămîni, iar conjugarea acestuia cu sărurile minerale durează și mai mult.

Continua remaniere a osului se datorește unor procese complexe, aparent contradictorii : osificarea și rezorbția. Pe lîngă aceste procese, vom mai vorbi, în cadrul acestui capitol, despre condensarea osului și formarea calusului.

Osificarea. — Este procesul prin care se realizează fixarea sărurilor minerale fosfo-calcice pe suportul organic sub formă cristalină. În același timp, osificarea reprezintă transformarea unui țesut conjunctiv în țesut osos.

Osificarea nu trebuie confundată cu *calcificarea,* care nu reprezintă decît depozitarea de săruri minerale amorfe la nivelul unui țesut conjunctiv care nu se organizează, ci dimpotrivă, s-a necrozat (ganglioni fost cazeoși, focare de tuberculoză

stinse; vechi pericardite şi pleurite, vechi hematoame, fibroame etc.). Calcificarea este un final al necrozei, „mijlocul de care dispune organismul pentru a-şi îngropa morţii“ cum se exprimă *Fontaine*.

Mecanismul intim al fixării sărurilor minerale pe suportul protidic este încă în discuţie. S-au prezentat pînă acum diverse teorii privind acest mecanism. Ne vom opri numai asupra cîtorva.

Teoria fosfatazei lui Robinson a dominat mulţi ani acest capitol al fiziopatologiei osoase. Teoria se baza pe constatarea că fosfataza este totdeauna prezentă în zonele de osificare. După această teorie, deoarece fluidul extracelular este aproximativ saturat cu săruri minerale, o uşoară creştere a concentraţiei de fosfatază ar putea cauza precipitarea sărurilor.

La ora actuală, teoria lui Robinson nu mai este acceptată ca atare şi s-au propus diverse aşa-numite „mecanisme secundare“, care încearcă să completeze lacunele teoriei.

Din punct de vedere cristalografic, apare tentantă „teoria epitaxiei“ a lui *Neuman şi Neuman*. Epitaxia reprezintă orientarea indusă a cristalelor unei soluţii aşternute pe o suprafaţă. De exemplu, dacă o soluţie de nitrat de sodiu se toarnă pe o suprafaţă de calcită, cristalele de nitrat de sodiu se orientează în aceleaşi direcţii cristalografice ca şi cristalele de calcită. În cadrul osificării, sărurile de apatită s-ar dispune în direcţiile cristalografice ale suportului organic. Elementul acestui suport, care ar determina fenomenul de epitaxie, este colagenul, cunoscut fiind că acesta, în stare nativă, este cristalin.

Reamintim, de asemenea, ***teoria polimerizării substanţei fundamentale şi a absorbţiei sărurilor minerale pe interferenţele sistemului lacunar***, teorie susţinută de *Rădulescu, Peter şi Baciu*. După această teorie, mucopolizaharidele şi în special acidul condroitin-sulfuric ar suferi un proces de polimerizare. Fixarea sărurilor minerale este cu atît mai intensă, cu cît suportul organic este mai polimerizat şi cu atît mai puţin intensă, cu cît acesta este mai depolimerizat, iar cantitatea de apă este mai mare. Deci, între polimerizarea suportului organic şi depunerea sărurilor minerale există un raport strîns. Polimerizarea scade posibilităţile suportului de a avea reacţii chimice obişnuite cu sărurile minerale, dar lărgeşte calea proceselor de adsorbţie. Cristalele de apatită oferă, după cum ştim, pentru o unitate de greutate, o suprafaţă imensă de contact, ceea ce prezintă condiţii excelente pentru adsorbţia lor pe interfeţele sistemului lacunar al substanţei fundamentale.

În procesul de osificare participă factori complecşi nervoşi, endocrini, enzimatici, vitaminici etc. Dintre factorii endocrini amintim numai hormonul somatotrop şi tiroxina ; dintre cei enzimatici — fosfataza ; iar dintre cei vitaminici — vitaminele B, C şi D. Factorii mecanici au şi aici un rol important. Orice forţă care acţionează asupra osului determină o serie de tensiuni, care se manifestă la nivelul substanţei intercelulare sub forma unor mici deformaţii. Aceste deformaţii constituie un stimul specific pentru celulele osteoformatoare. Vom vedea că în aceste procese intervin şi o serie de biocurenţi, produşi prin transformarea energiei mecanice în energie electrică.

Resorbţia. Aceasta poate fi definită ca fiind „scăderea consistenţei osului prin pierderea conţinutului său mineral sau organic". Se poate deci vorbi, de o resorbţie minerală sau o demineralizare şi de o resorbţie organică sau o depolimerizare.

Resorbţia minerală sau demineralizarea excesivă, patologică, se numeşte *osteomalacie* şi apare atunci cînd organismul nu mai primeşte o cantitate suficientă de săruri minerale *(osteomalacie de aport)*, sau elimină o cantitate prea mare de săruri minerale *(osteomalacie de eliminare)*.

Resorbţia organică sau depolimerizarea constă în depolimerizarea mucopolizaharidelor substanţei fundamentale, ceea ce atrage o scădere a proprietăţilor mecanice ale osului şi este însoţită de pierderea sărurilor minerale. Resorbţia organică excesivă, patologică, se numeşte *osteoporoză*.

Cele două forme de resorbţie osoasă nu pot fi separate una de alta. Nu se poate accepta o demineralizare pură, fără interesarea suportului organic şi nici o depolimerizare pură, fără interesarea sărurilor minerale.

În procesele de resorbţie intervin, de asemenea, factorii complecşi : nervoşi, hormonali, enzimatici etc. Dintre factorii hormonali amintim hormonul paratiroidian şi steroizii corticosuprarenalieni, iar dintre enzime, hialuronidaza.

Procesul de remaniere osoasă este, în esenţă, un continuu proces de osificare-resorbţie. Lamelele osoase apar, se osifică, se dezvoltă şi se resorb continuu. Între osificare şi resorbţie se menţine, în general, un echilibru stabil. În perioada de creştere, predomină osificarea, iar la bătrîneţe predomină resorbţia.

Printre alţi mulţi factori care dirijează remanierea osului, forţele mecanice intervin şi ele. Osificarea şi resorbţia, ca procese care se desfăşoară paralel, sînt în funcţie de valorile locale

ale tensiunilor intraosoase rezultate din presiunea şi tracţiunea musculară. Remanierea osului este stimulată permanent de rezultanta dintre forţele musculare şi greutatea corpului (*Pauwels*).

Condensarea. Reprezintă „îngroşarea, densificarea sau hipermineralizarea ţesutului osos obişnuit". Ea poate fi, ca şi resorbţia, un proces normal sau patologic şi se întîlneşte şi sub termenii de osteoscleroză, eburnare, hiperostoză, osteită sau osteoză condensată etc.

Condensarea funcţională reprezintă o modificare a structurii osoase primitive, care trebuie să se transforme într-un ţesut osos capabil să facă faţă unor necesităţi biomecanice crescute. În acest caz, valorile tensionale intraosoase cresc peste limitele obişnuite. Stimulul de remaniere osoasă este mai puternic. Osteoblastele existente sînt incitate la maximum ; osteocitele redevin osteoblaste. Osificarea se intensifică şi cantitatea de ţesut osos nou care se formează este mai mare.

Condensarea patologică dă osului aspecte diferite de cele normale şi apare în urma unor condiţii neobişnuite, mecanice, hormonale, vitaminice, infecţioase sau toxice. Pe radiografii osul apare mai dens, mai opac la raze.

Formarea calusului. Se înţelege prin calus (de la latinescul callus = întărire, bătătură) o neoformaţie de ţesut osos care înlocuieşte o întrerupere în continuitatea osului, produsă fie accidental, ca în fracturi, fie cu scop terapeutic, pentru corectarea diformităţilor osului prin secţionări chirurgicale, denumite osteotomii.

Primul fenomen care se observă cu ocazia unei fracturi este ***hematomul fracturar***. Fractura nu interesează numai ţesutul osos, ci şi reţeaua sanguină. Sîngele se revarsă, umplînd întreaga soluţie de continuitate. Hematomul începe să se organizeze. Proteinele plasmatice şi în special fibrinogenul se precipită şi astfel apare fibrina, sîngele transformîndu-se într-un coagul omogen, alcătuit dintr-o reţea de fibrină în ochiurile căreia se găsesc elementele figurate. Coagulul se retractă, devine mai strîns şi lasă să piardă apa.

Toate celulele conjunctive din vecinătatea focarului care au fost distruse de leziune îşi recapătă calităţile histiocitare. Ele încep să imigreze în lungul reţelei de fibrină, umplînd spaţiul creat de leziune şi se transformă în fibroblaste, care secretă fibre de colagen. Fibroblastele se transformă în osteoblaste. Încep depunerile de săruri minerale şi apare ţesutul osos, care

înglobează capetele celor două fragmente ale osului fracturat, obținîndu-se astfel consolidarea (fig. 30).

Procesul este continuat prin etapa de remaniere a calusului, interiorul lui rezorbindu-se și astfel refăcîndu-se canalul medular. Și în cursul acestui proces, factorii mecanici au un rol deosebit de important și asemănător celui descris în cadrul osificării și osteogenezei.



Fig. 30 — Formarea calusului. Se pot observa zonele de țesut condroid și schițarea primelor travee osoase încă neorganizate sub influența factorilor mecanici (după Cl. Baciu).

Procesele biofizice ale osului nu se petrec izolat de marile procese fundamentale biologice, cum sînt, de exemplu, respirația și asimilarea (cu succesiunea de catabolisme și anabolisme necesare), precum și de mecanismele fizico-chimice generale, compuse din reacții îndeosebi reversibile (mecanismele de reglare a echilibrului acidobazic și altele). Toate acestea complică înțelegerea mecanismelor intime ale osului, dar în același timp arată gradul de interdependență dintre schelet și întregul organism.

UNITATEA METABOLICĂ A ȚESUTULUI OSOS

Concepția statică asupra unităților histo-somatice ale țesutului osos, tinde să fie înlocuită de o concepție dinamică. Începe să se accepte ceea ce *Frost (1964)* a denumit ***„unitatea***

metabolică a țesutului osos", care se suprapune noțiunilor histologice clasice de sistem *Havers* sau osteon al osului compact și de lamelă osoasă a traveelor osului spongios.

O unitate metabolică osoasă cuprinde un număr variabil de osteociți interconectați prin expansiunile lor citoplasmatice, expansiuni care măresc mult *suprafața de schimb* dintre *compartimentul tisular* și *cel celular* al țesutului osos. Între cele două compartimente se găsește spațiul umplut de un *lichid intraosos*, mobilizat probabil de contracțiile și dilatațiile osteocitelor. Există oricum o *fluctuație continuă lichidiană periosteocitară.*

Fiecare unitate metabolică este autonomă, fiind separată de unitățile vecine prin *„linii de oprire"* realizate prin procesele de escavare ale osteoclastelor și reprezintă locul de amplasare al viitoarelor unități care se vor forma. „Liniile de oprire" sau hotarele unităților metabolice nu sînt definitive, ci reprezintă în același timp și zona de delimitare a unității existente și zona de creare a viitoarei unități.

Fiecare unitate metabolică este tapisată de un *strat monocelular de tip endotelial*, care o separă de lichidele extracelulare. Celulele acestui strat nu sînt osteoblaste, ci simple *celule mezenchimale* (progenitor celles), și reprezintă punctul de plecare al proliferării celulelor osoase. Se întrevede deci necesitatea ca din celulele mezenchimale să provină întîi osteoclastele și apoi osteoblastele. Între celulele stratului înconjurător există o serie de pori care permit schimburi ionice, prin care pătrund polipeptidele, steroizii hormonali și vitaminele, care sînt apoi transportate de către lichidele osoase pînă la membranele osteocitare.

Osteoliza periosteocitară. Osteocitul nu mai este privit ca un „parazit al osului", ca o celulă osoasă matură inactivă, ci ar prezenta o veritabilă activitate. El produce o serie de *secreții enzimatice* care duc la resorbția unui volum oarecare al țesutului osos realizîndu-se ceea ce *Bélanger* și colab. (1963) au denumit *„osteoliza periosteocitară"*. Osteoliza periosteocitară poate mări lacuna osteoplastului iregularizîndu-i și crenelîndu-i marginile, acestea ajungînd asemănătoare lacunelor *Howship*. În mod normal, indiferent de vîrstă, 3—4% dintre lacunele osteocitare ajung să aibă acest aspect. *Hormonul paratiroidian mărește frecvența acestor lacune chiar fără a modifica activitatea osteoclazică.* Un exces, chiar minim de parathormon stimulează deci osteoliza periosteocitară, înainte de a stimula activitatea și

înmulțirea osteoclastelor. Administrarea preventivă de *calcitonină* înainte de parathormon împiedică stimularea osteolizei periosteocitare.

Osteocitul activează însă nu numai în sensul resorbției osoase, ci și al *neoformării de țesut osos*. În lumenul osteoplastului respectiv, osteocitul secretă fragmente din fibre colagene care ulterior se mineralizează. Procesul este asemănător celui al apariției *osteoidului fibros* din procesele de osificare. În *hipovitaminoza D* frecvența osteolizei periosteocitare este mărită din cauza hiperparatiroidiei asociate și încetinirii de mineralizare. În aceste cazuri administrarea de 25 hidroxychole-calciferol atrage remineralizarea.

Se poate vorbi deci de un proces de *miniremaniere periosteocitară* datorat, pe de o parte, osteolizei periosteocitare și, pe de altă parte, mineralizării periosteocitare. Procesul de miniremaniere osteocitară joacă un rol important în asigurarea *homeostaziei minerale fosfocalcice*.

Filiera celulelor osoase. Cunoștințele asupra *filierei* genezei și mai ales filierei celulelor osoase s-au modificat deseori. În mod clasic atît osteoblaștii, cît și osteoclaștii proveneau prin două linii separate din aceeași celulă mamă, celula mezenchimatoasă. Într-o etapă anterioară s-a considerat că filiera ar fi : osteoblast (celulă activă) → osteocit (celulă matură în repaus → osteoclast (celulă fără activitate, simplu martor al procesului de distrucție osoasă rezultat din deșeurile mai multor osteocite).

La ora actuală viziunea s-a inversat total și filiera acceptată este următoarea :

CELULA MEZENCHIMATOASĂ DE ORIGINE
↓
PRE-OSTEOCLAST
↓
OSTEOCLAST
↓
POST-OSTEOCLAST
↓
PRE-OSTEOBLAST
↓
OSTEOBLAST
↓
OSTEOCIT

O serie de fapte experimentale obligă la adoptarea acestei noi concepții. Astfel :

— la 15 min de la administrarea calcitoninei se constată că în osul spongios al iepurelui, 70% dintre osteoclaste dispar,

pentru ca după 60 min să crească considerabil numărul de osteoblaste (*Millis* şi colab. 1971—1972) ;

— prin administrarea de hormon paratiroidian la iepure, ale cărui celule osoase au fost marcate cu uridină titrată, se descoperă trasorul întîi în osteoclaste, după 10—15 ore în celulele mononucleate asemănătoare postoseoclastelor, după 18—24 ore în preosteoblaste şi osteoblaste, în acest moment osteoclastele nemaifiind marcate (*Rasmussen* şi *Bordier* — 1973—1974).

Remanierea osoasă se prezintă deci, din punct de vedere al celulelor osoase, ca o succesiune. Într-o primă etapă este necesar ca celulele mezenchimatoase să fie activate. Odată activate celulele suferă mai multe diviziuni mitotice şi se transformă în preosteoclaste, celule mononucleate. Acestea fuzionează între ele şi se formează osteoclastele, celule plurinucleate. Prin fisiune ele dau naştere preosteoblastelor şi acestea osteoblastelor, care realizează formarea ţesutului osos. Osteoblastele se transformă în osteociţi.

Dublul aspect al remanierii osoase. Remanierea osoasă ca proces continuu se desfăşoară deci sub două forme, ambele legate de unităţile metabolice ale ţesutului osos. Prima formă este aceea a osteolizei periosteocitare pe care am prezentat-o, iar a doua este aceea a construcţiei de noi unităţi metabolice, la graniţele dintre unităţile existente.

Durata de viaţă a osteocitelor este limitată şi nu rare ori pe lame se pot surprinde în lacunele osteocitare numai cîteva vestigii nucleare. Probabil că în momentul morţii osteocitului, printr-un semnal biologic încă neidentificat, stratul monocelular de celule mezenchimatoase, care delimitează unitatea metabolică osoasă, diferenţiază osteoclastele care resorb ţesutul osos devenit inactiv. Aria de resorbţie serveşte drept arie de construcţie şi pe ea va apare noua unitate. Întinderea unei unităţi este dependentă de întinderea ariei de resorbţie care a precedat-o, în ultimă instanţă deci, de numărul osteoclaştilor care au intrat în acţiune.

Nu se cunoaşte cu precizie care este durata de viaţă a osteoclaştilor, dar se estimează a fi între cîteva zile şi cîteva săptămîni. Osteoclastul apare ca urmare a acţiunii parathormonului care are şi efectul de a-i prelungi durata de acţiune.

Fazei de resorbţie osteoclazică îi urmează faza de reparaţie. Pe marginile cavităţii săpate de osteoclaste apar preosteoclastele, care se transformă rapid în osteoblaste. La individul normal.

în vîrstă de 20—40 ani, 2—8% din suprafaţa osului este acoperită de aceste osteoblaste active (*Merz* şi *Schenk* — 1970).

Osteoblaştii construiesc *lamelele osteoide* inclare şi concentrice într-o unitate haversiană sau rectilinii într-o unitate spongioasă. În medie, 12% din suprafaţa osului spongios este ocupată de ţesutul osteoid a cărui grosime nu depăşeşte niciodată 10 mm. Apare deci o nouă noţiune, aceea de *suprafaţă osteoidă*, a cărei întindere poate fi considerată ca indice al reconstrucţiei. Totuşi la indivizii în vîrstă, de peste 55 ani, suprafaţa osteoidă se măreşte şi aceasta trebuie interpretată ca un indice al unei întîrzieri de mineralizare.

Lamelele osteoide se mineralizează rapid. În 24 de ore pe suprafaţa de contact cu osul calcificat apare frontul de calcificare. Aproximativ 80% din suprafaţa osteoidă intră în contact cu frontul de osificare.

Prinşi între lamelele osteoide, osteoblaştii se unesc prin prelungirile lor citoplasmatice şi devin osteociţi, iar osteociţii îşi încep procesul de osteoliză periosteocitară pentru a-şi crea lamelele. Acomodarea osteocitelor se petrece încă din faza de maturaţie osteoidă şi durează 5—8 zile.

Resorbţia activă şi resorbţia inactivă. Procesul de resorbţie osoasă ca „primum movens" al remanierii osoase se poate întîlni sub două forme : resorbţie inactivă şi resorbţie activă.

Resorbţia inactivă este aceea în care osteoclaştii dispar din lacune ceea ce exprimă probabil absenţa tendinţei de remaniere.

Resorbţia activă este aceea în care se observă o activitate osteoclazică. Suprafaţa de os spongios pe care se observă activitatea osteoclazică se numeşte *suprafaţă de resorbţie* activă şi ea poate fi histologic măsurată. La adultul sănătos 0,5—1,5 din suprafaţa totală a ţesutului osos este sediul resorbţiei active (*Schenk* şi colab. 1969, *Brodier* şi *Tun Chot* — 1972), în timp ce 5—15% din suprafaţa totală prezintă lacune goale, deci semne ale resorbţiei inactive.

EFECTELE FORŢELOR MECANICE ASUPRA OSULUI. OSUL CA UNITATE FUNCŢIONALĂ

Osul-organ are rol în susţinerea corpului şi în locomoţie. Statica şi locomoţia, sub toate formele lor, determină şi la nivelul osului, prin greutatea corpului şi prin jocul forţelor musculare (tonus şi contracţie), o *stare de tensiune* sau de eforturi unitare.

Această stare de tensiune rezultă însă nu numai din efectul direct al factorilor externi (greutate, tonus şi contracţie), ci şi din efectul unor factori interni, cum ar fi : dezvoltarea osului, tensiunea vasculară, procesele metabolice, factorii chimici etc. Toţi aceşti factori, externi sau interni, acţionează în sensul structurării funcţionale a osului, conform cerinţelor mecanice. Structura funcţională a osului este conformă tuturor adaptărilor petrecute de-a lungul filogeniei şi ontogeniei.

Considerat din punct de vedere al calculului rezistenţei materialelor, osul a ajuns să realizeze „o construcţie minimă absolută" *(Pauwels—Kummer)*, o construcţie capabilă să reziste la forţele maxime cu un minimum de material.

Pentru sfărîmarea unui os normal trebuie să se apese asupra lui cu o forţă foarte mare. După *Boigey*, pentru a sfărîma o vertebră lombară sînt necesare 1 000 kg, pentru un femur — 2 000 kg şi pentru o tibie — 4.100 kg.

Organizarea osului, în care intră, după cum am văzut, o cantitate minimă de material, s-a dovedit a fi construcţia cea mai economică şi în acelaşi timp cea mai adaptată ca rezistenţă şi ca elasticitate. În mod normal, osul este solicitat în cadrul exerciţiilor fizice de forţele mecanice cunoscute (compresiune, tracţiune, încovoiere, torsiune şi forfecare). Dar osul rezistă şi la încărcări de tip consolă sau de altă natură. El reprezintă deci o construcţie rezistentă (are un indice de asigurare de 10—15%), cu caracteristici mecanice asemănătoare cu ale betonului. Efectele structurale ale forţelor mecanice pot fi urmărite la nivelul tuturor celor patru ordine de structuri.

La nivelul structurilor de primul ordin, dispoziţia materialului este conformă legilor rezistenţei. Diafiza, cu materialul dispus la periferie şi reprezentat de compactă, are un aspect tubular. Este ştiut, din acest punct de vedere, că un tub este mai rezistent la compresiune decît un cilindru plin.

Epifizele oaselor lungi şi oaselor scurte prezintă o dispoziţie a trabeculelor osoase care s-a dovedit că urmează un traiect similar calculelor matematice efectuate conform legilor mecanicii. Încă din prima jumătate a secolului al XIX-lea, *Bourgery* şi alţi autori au arătat că substanţa spongioasă a osului prezintă o arhitectură tipică, adaptată funcţional fiecărui os şi fiecărui teritoriu al osului respectiv. În anul 1867 matematicianul *Kulman* din Zürich, studiind secţiunile longitudinale făcute prin extremitatea superioară a femurului, a constatat că dispoziţia trabeculelor osoase corespunde cu direcţia traiectoriilor de presiune şi tracţiune şi că la nivelul cavităţii cotiloide

a osului coxal este asemănător unei macarale care urmează să fie încărcată. El a demonstrat prin calcule matematice această asemănare. Mai tîrziu, aceste studii s-au extins asupra tuturor oaselor. Studiul arhitecturii funcționale a structurilor de primul ordin la nivelul epifizelor a produs, chiar înainte de epoca radiologiei, discuții contradictorii, uneori înverșunate, asupra felului cum reacționează osul la factorii mecanici. Este epoca în care s-au formulat o serie de legi referitoare la arhitecturarea epifizelor în raport cu acțiunea forțelor mecanice, mai ales în condiții anormale, patologice, în care segmentele osoase articulare erau menținute timp îndelungat în poziții vicioase. În aceste condiții se instalează ceea ce *Hueter* și *Volkmann* denumesc *diformitățile prin încărcare* (der Balastungsdiformitäten).

Legile de arhitecturare a epifizelor sînt următoarele :

1. *Legea lui Delpech* (1828) se poate formula, în esență, astfel : „Extremitățile oaselor care formează o articulație, supuse într-o parte a lor la o presiune anormală, puternică și continuă, își micșorează acolo volumul, pe cînd în locul unde sînt scoase timp îndelungat de la presiunea obișnuită își măresc volumul".

De exemplu : la tinerii care datorită unei anumite boli articulare, cum ar fi tuberculoza de genunchi, stau în poziție antalgică (gamba flectată pe coapsă) un timp îndelungat, se produce o subluxație posterioară a tibiei față de femur. Condilii femurului se deformează, hipertrofiindu-se în porțiunea lor anterioară, care nu mai vine în contact cu platoul tibial, fiind deci scoasă de la apăsarea normală. Diformitatea se accentuează progresiv prin turtirea condiliilor în partea posterioară și a porțiunilor respective din platourile tibiale supraapăsate. Aceeași deformare a condiliilor, dar în părțile laterale, se observă și în alte afecțiuni, cum ar fi genu-varum sau genu-valgum.

2. *Legea lui Wolff* (1870). *Wolff* — care dealtfel a introdus și noțiunea de „transformare funcțională" a osului — a constatat că atunci cînd o apăsare se execută anormal și continuu asupra unei părți dintr-o epifiză, trabeculele spongioasei subiacente se îndreaptă în direcția în care lucrează forța. Osul, prin modificarea suferită în structura sa arhitectonică, se condensează și își micșorează volumul pentru a rezista la funcția impusă de noile condiții statice și dinamice. Partea din epifiză care nu este supusă adaptării normale își mărește volumul, dar își micșorează consistența printr-un grad apreciabil de resorbție a trabeculelor osoase și prin alungirea și subțierea celor rămase. *Wolff*, bazîndu-se pe calculele lui *Kulmann*, a emis așa-zisa „lege a transformărilor osoase", care poate fi astfel enunțată :

„Dacă se schimbă arhitectura internă a osului printr-o permanentizare a poziției anormale a uneia din extremitățile sale articulare, obligatoriu și concomitent se schimbă și forma lui exterioară. Fiecărei forme a osului îi corespunde o arhitectură internă, care se poate calcula matematic; de asemenea, orice modificare a arhitecturii interne trebuie să determine, tot matematic, o anumită formă exterioară".

Wolff a insistat asupra transformărilor (condensări, îngroșări ale corticalei, resorbții) care au loc și în diafiza deformată a osului, tot după legi mecanice. El a mai stabilit și faptul că la osul patologic, deci cu consistență micșorată (rahitism în evoluție, tuberculoză osoasă, osteomalacie), presiunea normală devine în astfel de condiții o „suprapresiune", care duce la diformitate.

3. *Legea lucrului constant* sau a balansării pleacă de la aceleași premise, dar se referă la perioada de creștere. Ea se enunță astfel: „cînd o supraapăsare se face constant asupra unei jumătăți de cartilaj de creștere, acesta fiind comprimat, dă naștere unui os consistent și cu un volum mai micșorat, pe cînd partea scoasă de la presiunea normală produce un os spongios și mărit de volum".

4. *Legea lui Roux* nu face decît să rezume legea lui Wolff, aplicînd-o însă la condiții normale: „Oasele normale ale adulților prezintă concomitent cu structura lor funcțională și o formă funcțională". Într-un os în funcțiune, suportul materializat al necesităților mecanice se dezvoltă în măsura cea mai mare în direcția solicitărilor.

Enunțarea acestor așa-zise „legi" nu reușește însă să cuprindă aspectele complexe ale corelațiilor dintre forțele mecanice și arhitectura funcțională a osului. Conform lor, orice presiune s-ar solda cu formare de os și orice depresiune cu resorbția osului. Legile neglijează *intensitatea* cu care intervin factorii mecanici. Într-adevăr, în anumite situații, efectele pot apare paradoxale. Exemplificatoare sînt în acest sens observațiile efectuate de *Nikulov* în ceea ce privește influența pe care o poate exercita presiunea crescută asupra metatarsienelor IV și V la bolnavii de diverse diformități ale piciorului. Astfel, la cei cu picior strîmb, varus ecvin, greutatea corpului se sprijină pe partea distală a marginii externe a piciorului, deci pe diafizele ultimelor două metatarsiene. Dacă diformitatea este prea mare, atunci diafiza osului este supusă unei presiuni, în special în sens transversal, ceea ce creează condițiile necesare apariției procesului de condensare a osului. Dacă diformitatea este mare, pre-

siunea se exercită de jos în sus, de-a lungul metatarsianului al V-lea şi atît de puternic, încît apar procese de resorbţie osoasă la extremitatea proximală a metatarsianului.

Diafiza metatarsianului se poate, deci, îngroşa şi condensa sub influenţa unei anumite presiuni mărite, care acţionează transversal, dar cînd presiunea depăşeşte puterea de rezistenţă a osului pot apare procese de resorbţie.

Factorul presiune produce schimbări variate în forma şi consistenţa osului, după intensitatea cu care acţionează. Există presiuni cu intensităţi favorabile formării de os şi presiuni cu intensităţi nefavorabile. Presiunile favorabile sînt acelea care nu le depăşesc pe cele care se exercită în mod normal asupra oaselor. Ele pot fi denumite *presiuni funcţionale* şi au valori de apăsare între 8 şi 15 kg/cm^2 os. Dacă aceste presiuni sînt depăşite, efectul nu este formarea de ţesut osos, ci resorbţia osului.

La nivelul structurilor osoase de ordinul al doilea şi al treilea, influenţa factorilor mecanici este, de asemenea, evidentă. Sistemele haversiene sînt orientate după traiectoriile de tensiune principale. Fibrele colagene care intră în alcătuirea lamelelor osoase realizează prin orientarea şi încrucişarea lor funcţională elemente importante, care conferă osului o mare rezistenţă.

La nivelul structurilor osoase de ordinul al patrulea după *Rainer* şi *Riga*, forţele de presiune determină următoarele modificări :

— creşterea coeziunii intermoleculare ;
— modificarea moleculelor imediat învecinate ;
— apariţia de legături noi, prin valenţe accesorii, care apar în jurul valenţei principale a fibrelor colagene.

Forţele mecanice primare (tracţiunea, presiunea şi forfecarea) influenţează mezenchimul, care este extrem de plastic, miceliile de proteine din lichidul intercelular se dispun paralel şi formează fibrile. Fibrilele se orientează şi ele, la rîndul lor, în direcţia celei mai mari solicitări.

Influenţa factorilor mecanici asupra regenerării şi structurării ţesutului osos şi a osului-organ este unanim acceptată, dar mecanismul intim care dirijează acest fenomen nu a fost decît relativ recent pus în evidenţă şi implică participarea factorilor bioelectrici.

Aşa cum s-a putut demonstra, o serie întreagă de procese biologice sau biopatologice, ca : migrarea celulară, formarea tumorilor, morfogeneza, regenerarea membrelor la amfibiene şi altele trebuie puse în corelaţie cu curenţii bioelectrici sau

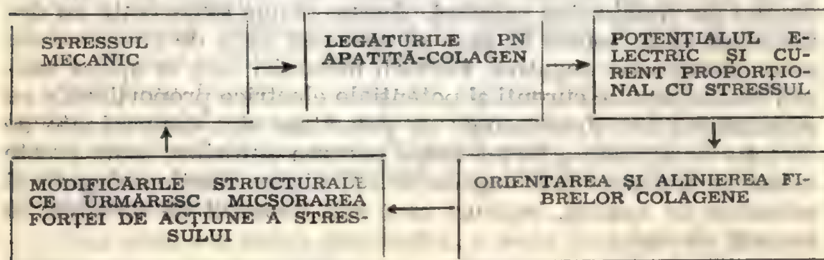
cu acţiunea directă a cîmpurilor electrice. Era de aşteptat, ca şi în biologia osului să se depisteze intervenţia acestor factori. Într-adevăr, într-o serie de lucrări efectuate de autorii japonezi şi americani, s-a demonstrat că funcţiile mecanice ale osului, întocmai ca într-un transductor, transformă energia mecanică în energie electrică. Osul s-ar comporta din punct de vedere electric ca un semiconductor şi la nivelul lui se pot pune în evidenţă fenomene piezoelectrice, identice celor care se produc cînd cristalele de cuarţ sînt frecate unele de altele.

Primii care au sugerat şi au demonstrat că osul, datorită naturii sale cristaline, are proprietăţi piezoelectrice şi că acţionează cu un mecanism transductor al forţelor mecanice au fost *Fukada şi Yasuda* (1957), *Bassett* şi *Becker* (1962). Ei au reuşit să determine potenţialele electrice (potenţialele d-c) produse în timpul exercitării forţelor mecanice asupra osului. Oasele au fost supuse unor forţe de presiune, exercitate în axa lor lungă, în aşa fel încît să se îndoaie, formînd o concavitate posterioară. O porţiune din treimea medie a osului a fost deperiostată, împreună cu inserţiile ţesuturilor moi. Atît la faţa anterioară, cît şi la cea posterioară, în corticala osului s-a introdus cîte un electrod de argint, pus în legătură cu un amplificator şi un galvanometru, care să determine curenţii de intensitatea 10^6—10^{14} Ohmi. S-a constatat astfel că, în momentul în care osul începea să se curbeze, electrodul posterior, din dreptul concavităţii osului, devenea negativ faţă de electrodul anterior, din dreptul convexităţii osului, şi diferenţa de potenţial se menţinea atît timp cît se menţinea şi presiunea asupra osului. Cînd presiunea se întrerupea, electrodul anterior se negativa faţă de cel posterior, pentru o scurtă perioadă de timp şi apoi se instala o stare de izopolaritate[1]. Aceleaşi rezultate s-au obţinut şi prin experienţe pe oase izolate proaspăt recoltate, deci potenţialele generale nu depind de viabilitatea celulară. Aceste prime experienţe au demonstrat că în zonele în care se dezvoltă forţe de compresiune apar potenţialele negative. Factorii mecanici care se aplică asupra osului produc curenţi şi potenţiale electrice proporţionale cu intensitatea lor. Fenomenele de polaritate sînt determinate de direcţia de acţiune a forţei. După părerea autorilor, toate aceste efecte se transmit prin legăturile PN dintre fibrele colagene şi cristalele de apatită, legături care sînt deosebit de sensibile la factorii mecanici.

[1] Un corp se polarizează cînd părăseşte starea electrică neutră, încărcîndu-se pozitiv sau negativ, în jurul unuia sau a doi centri, care iau numele de poli.

Curenţii bioelectrici, care apar în aceste condiţii, sînt capabili să dirijeze activitatea celulelor osoase, să orienteze şi să structureze macromoleculele din spaţiul extracelular. S-a putut demonstra astfel „in vitro“ că fibrele colagene sînt orientate într-un anumit fel de curenţii electrici de 1 microamper şi anume fibrele din vecinătatea catodului se dispun în unghi drept faţă de cîmpul electric. S-a demonstrat, de asemenea, „in vivo“ că la catodul maselor de energie electrică de 10 şi 100 microamperi formarea de ţesut osos este stimulată. Osificarea masivă care se observă la catozi nu pare să fie rezultatul unei simple activităţi electroforetice asupra colagenului şi sărurilor minerale. Creşterea numărului de celule tinere mezenchimale şi a osteoblastelor, accelerarea mitozelor celulare şi orientarea preferenţială faţă de cîmpul electric, care se observă în cadrul acestor osificări, nu poate rezulta numai din efectele electroforetice. Trebuie găsită deci o altă interpretare a efectului factorilor bioelectrici asupra regenerării şi structurării osoase.

Experienţele efectuate constituie argumente preţioase în sprijinul afirmaţiei că regenerarea şi structurarea osoasă, sub influenţa factorilor mecanici, este dirijată de un sistem de control, tip „feedback“, sistem care ar putea fi următorul : forţele mecanice care se aplică asupra matricei osoase acţionează asupra legăturilor PN (fosfor-azot) ale complexului apatită-colagen şi produc un semnal electric care stimulează diferenţierea celulară şi orientează depunerea fibrelor colagene native. Sub influenţa curenţilor electrici de slabă tensiune, formarea de ţesut osos este stimulată datorită polarităţii curentului, ţesutul osos formîndu-se de preferinţă în zonele relativ electronegative. Schematic, acest sistem de control ar putea fi astfel reprezentat :



Interpretată sub această formă, influenţa factorilor mecanici asupra regenerării şi structurării ţesutului osos, se demonstrează

a fi cu mult mai complexă, incriminarea participării fenomenelor piezoelectrice deschizînd orizonturi noi problemelor de biologie şi patologie osoasă.

CARACTERISTICILE MORFO-FUNCŢIONALE ALE ARTICULAŢIILOR

Segmentele osoase care alcătuiesc scheletul sînt legate către extremităţile lor prin părţi moi, formînd articulaţiile.

Definiţiile care s-au dat articulaţiilor sînt diferite, după punctul de vedere al autorului care a propus definiţia.

Din punct de vedere anatomic, articulaţia poate fi definită astfel: „ansamblul părţilor moi, prin care se unesc două sau mai multe oase vecine" (*Testut*).

Din punct de vedere histologic şi embriologic, articulaţia poate fi definită astfel: „despicătura formată în ţesuturi conjunctive ajunse la diferite faze de evoluţie şi care nu se menţine decît dacă este supusă unei acţiuni fiziologice normale" (*Policard—Coquelet*).

CLASIFICARI FUNCŢIONALE

O clasificare universal recunoscută împarte articulaţiile după gradul lor de mobilitate:

1. Prima grupă o formează *articulaţiile fixe (sinartrozele)*, în care mişcările sînt minime sau inexistente. Acestea sînt lipsite de o cavitate articulară, iar funcţia lor de mobilitate diminuă pînă la dispariţie, nemairămînînd decît nişte zone interosoase, ca un ţesut intermediar, care poate fi transformat chiar în ţesut osos, astfel încît delimitarea dintre oase să dispară. După stadiul de evoluţie al mezenchimului care se interpune între oase, deosebim: ***sinfibrozele*** — extremităţile oaselor sînt unite prin ţesut fibros; ***sincondrozele*** — legătura se face prin ţesut cartilaginos; ***simfizele*** — ţesutul interpus este fibro-cartilaginos; *sinostozele* — mezenchimul se osifică.

2. A doua grupă de articulaţii o formează articulaţiile cu mişcări ceva mai ample, deci semimobile *(amfiartrozele, hemiartrozele, schizartrozele)*, în care zona intermediară prezintă o fantă incompletă, apărută sub influenţa unor mişcări de amplitudine redusă.

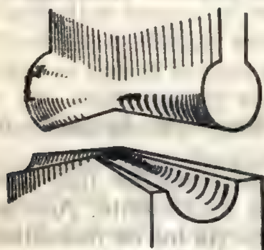
3. A treia grupă, adică aceea a adevăratelor articulaţii, este reprezentată de articulaţiile mobile *(diartroze)*, caracterizate

— Anatomia funcţională şi biomecanica aparatului locomotor — cd. 271

prin prezența unei cavități articulare ce apare între extremitățile oaselor. Cavitatea este limitată de un țesut conjunctiv provenit tot din mezenchimul intermediar, care devine *capsulă articulară*. Aceasta continuă periostul oaselor, este fibroasă și întărită de *ligamente*, zise *capsulare*, care nu sînt altceva decît îngroșări ale capsulei. Deosebit de aceste ligamente, în diartroze mai există și alte *ligamente intra* — și *extraarticulare*. *Din punct de vedere funcțional, ligamentele reprezintă tot atîtea mijloace care se opun mișcărilor peste o anumită limită sau într-o anumită direcție.*

O altă clasificare funcțională a articulațiilor se poate face după gradul de libertate a mișcărilor, pe care articulația este capabilă să le execute, în raport cu cele trei planuri ale spațiului. Astfel, într-o primă categorie ar intra *articulațiile cu un singur grad de libertate* :

a) *Articulațiile plane (artrodiile)* au suprafețele articulare congruente ; mișcarea lor este numai de alunecare, cum se întîmplă între apofizele articulare cervicale sau între oasele carpiene.



b) *Articulațiile cilindroide* sînt asemănătoare balamalelor. Un capăt articular are forma unui cilindru plin sau al unui mosor (trohlee), iar celălalt este scobit și configurat corespunzător. Se deosebesc două variante : *articulația trohleană*, ca o balama, cum este articulația cotului (fig. 31), și *articulația trohoidă*, sub formă de pivot, în jurul căreia se face mișcarea, cum este articulația radio-cubitală superioară.

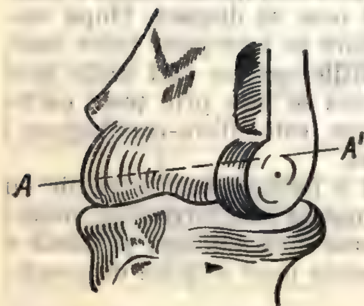


Fig. 31 — Schema mecanică a unei trohleartroze. AA' axa de mișcare.

A doua categorie o formează *articulațiile cu două grade* de libertate :

a) *Articulația elipsoidă* are una din extremitățile osoase în formă de condil, cu secțiunea antero-posterioară

elipsoidală (genunchi) sau un condil şi o cavitate scobită corespunzătoare (articulaţia radio-carpiană).

b) *Articulaţia şelară* (în formă de şa) cu o suprafaţă convexă şi alta concavă în sens invers, ca cea trapezo-metacarpiană a policelui (fig. 32). Aceste două feluri de articulaţii au libertate în mişcări în două sensuri, mişcarea de rotaţie nefiind posibilă.

A treia categorie este reprezentată de *articulaţiile cu cea mai mare libertate de mişcare,* adică articulaţiile cu trei grade de libertate :

Articulaţiile sferoidale (enartrozele) sînt alcătuite dintr-un cap articular aproape globulos, mai mic sau mai mare decît o jumătate de sferă, şi dintr-o cavitate mai întinsă sau mai scobită (fig. 33). Exemplele clasice sînt date de articulaţiile scapulo-humerală şi coxo-femurală. În aceste articulaţii se pot executa toate mişcările : flexia şi extensia, mişcările de lateralitate, abducţia şi adducţia, rotaţia şi circumducţia. Partea terminală a

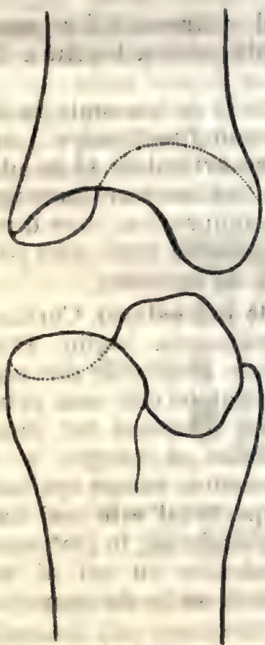


Fig. 32 — Articulaţia prin îmbucare reciprocă.



Fig. 33 — Schema mecanică a unei diartroze. AA', BB', CC', axele de mişcare.

membrului descrie o mişcare întinsă care se înscrie pe suprafaţa unei sfere. Din această cauză astfel de articulaţii se mai numesc şi *articulaţii total libere,* adică articulaţiile cărora le este permis orice sens de mişcare.

ELEMENTELE COMPONENTE ALE DIARTROZELOR

În cele ce urmează ne vom ocupa de studiul diartrozelor, deci, al articulaţiilor care au toate elementele componente articulare. Diartrozele sînt alcătuite din mai multe elemente componente, fiecare element avînd o structură şi un rol funcţional particular.

Extremităţile osteo-articulare. Forma extremităţilor osoase este direct legată, după cum s-a arătat, de gradul de libertate al mişcărilor. Experienţele prezentate la capitolul referitor asupra embriogenezei umane au arătat că nivelul de inserţie al muşchilor periarticulari joacă un rol preponderent în modelarea extremităţilor.

Arhitectura trabeculelor la nivelul extremităţilor osoase reprezintă, de asemenea, un bun exemplu pentru legătura dintre structură şi funcţie.

La nivelul articulaţiilor liniile de forţă se transmit de la o suprafaţă articulară la alta. Pentru o bună funcţionare a articulaţiilor este necesar ca suprafeţele osteo-articulare să se adapteze perfect *(congruenţa articulară).* În caz contrar *(incongruenţa articulară)* se creează zone ulcero-compresive, care duc la distrugerea cartilajului şi osului şi la instalarea unor stări patologice, degenerative, care iau denumirea de *artroze.*

Cartilajele articulare (diartroidale de încrustare). Cartilajul articular poate fi considerat ca fiind totdeauna hialin. Privit filogenetic este cel mai bătrîn dintre toate ţesuturile din organism, deoarece s-a transmis de la vertebratele cele mai primitive, fără a suferi modificări importante. Durează tot timpul vieţii. Are aspectul lucios, o culoare gălbuie pe margini şi albăstruie în centru din cauza sîngelui din zonele osoase epifizare, care apare prin transparenţă. Stratul superficial este mai transparent, iar cel profund mai opac, pierzîndu-se în întregime spre periferie într-un ţesut fibros, asemănător cu cel al tendoanelor. În cursul evoluţiei sale suferă o serie de remanieri, care fac din el un organ specific.

Grosimea cartilajului nu este egală pe toată întinderea suprafeţelor articulare, ea fiind mai mare la nivelul punctelor de maximă presiune, unde poate atinge chiar 6 mm, şi mai redusă

la nivelul punctelor unde suportă o presiune mai mică. Grosimea cartilajului este legată de nivelul de oprire a proceselor epifizare de osificare. Cu cît osificarea s-a oprit mai repede, cu atît grosimea rămasă va fi mai mare.

Grosimea cartilajului articular diferă şi după suprafaţa pe care o acoperă. Astfel, la o enartroză, la nivelul sferei pline (deci al capului) cartilajul este mai gros la centru şi mai subţire la periferie, în timp ce la nivelul sferei goale (deci al cavităţii care primeşte capul) cartilajul este mai gros la periferie decît la centru. Constatarea are un caracter general şi a fost exprimată sub forma *legii repartizării inverse a cartilajului articular.*

Cartilajul este mai gros la tineri şi se subţiază treptat cu vîrsta. El este întărit cu o reţea de fibre colagene dispuse arhitectural în aşa fel, încît să suporte în cele mai bune condiţii forţele, uneori foarte mari, care se exercită asupra lui. Fibrele colagene se continuă la marginea cartilajului cu fibrele colagene ale sinovialei şi ale periostului, ceea ce face ca muşchii cu inserţiile periarticulare să nu exercite o tracţiune pe zona limitată a inserţiei periostale, ci pe întreaga extremitate osoasă. Prin cel mai profund strat al său, cartilajul se adaptează perfect la suprafaţa osoasă subiacentă, care este vălurită, încît foarte greu poate suferi alunecări laterale. În anumite cazuri patologice, o porţiune a cartilajului se poate însă desprinde de pe suprafaţa osoasă, rămînînd liberă în cavitatea articulară (*osteocondrita disecantă*).

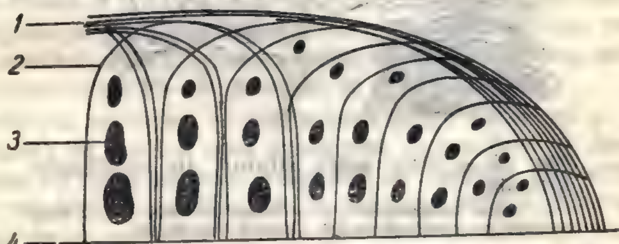


Fig. 34 — Orientarea fibrelor colagene ale cartilajului articular :
1 — strat tangenţial ; 2 — strat arcuat ; 3 — condroane ; 4 — strat calcificat.

Substanţa fundamentală a cartilajului de încrustare este formată din condromucoid, care rezultă din combinaţia unei proteine cu acidul condroitin-sulfuric. Substanţa fundamentală este parcursă de un sistem de fibrile colagene care o întăreşte (fig. 34). Fibrilele sînt dispuse în arcade, care se înalţă perpendi-

cular, pornind de la nivelul joncţiunii condro-osoase. Între fibrile se găsesc spaţii pentru celule, care sînt cu atît mai mari, cu cît sînt mai aproape de suprafaţă. În stratul cel mai superficial nu există celule, ci doar o mare acumulare de fibre tangenţiale. Mai spre bază, celulele sînt reunite în „serii izogenice"

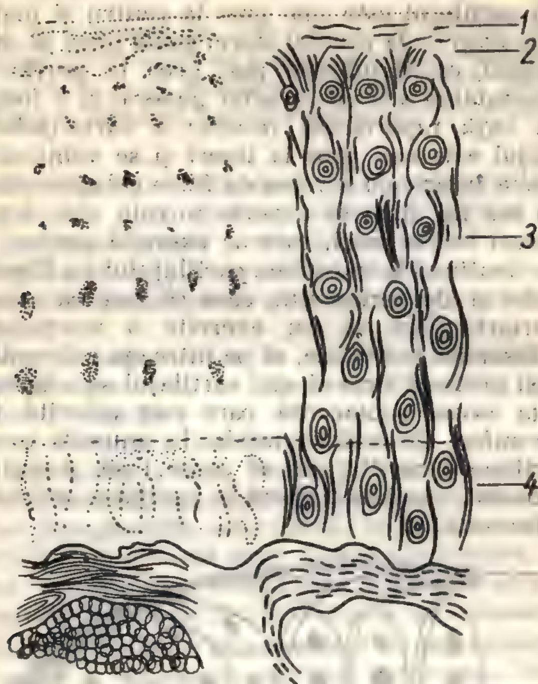


Fig. 35 — Cele patru straturi ale cartilajului articular :
1 — fibre tangenţiale ; 2 — zonă arcuată ; 3 — zonă radiară cu condroame ; 4 — zonă calcificată.

sau „condroame" *(Benninghoff)*, fiecare din acestea fiind învelite într-o capsulă independentă. Zona profundă a cartilajului este, în parte, calcificată şi serveşte ca ancoraj arcadelor fibrilare.

Cartilajul articular prezintă deci patru straturi distincte (fig. 35) :

1 — zona superficială a fibrelor tangenţiale fără celule, care formează suprafaţa netedă a articulaţiei şi care prezintă

totdeauna uzuri, sub forma unor efiloşări, ce se pot observa cu o lupă puternică ;

2 — zona de tranziţie, unde se curbează sistemele fibrilare tangenţiale ale stratului superficial ;

3 — zona radiară, care prezintă cămăruţe cu celule sau „condroame“, în care fibrele colagene sînt verticale ;

4 — zona calcificată, alcătuită dintr-un strat subţire, cu celule fără vitalitate, în care fibrele radiare sînt cimentate într-o substanţă fundamentală, în partea calcificată.

Cartilajul articular este lipsit de vase, deci nu are posibilităţi de cicatrizare sau regenerare. La periferia cartilajului pătrund doar cîteva vase oarbe, care, practic, sînt ca şi inexistente pentru nutriţie. Este, deci, un ţesut braditrof, cu un metabolism foarte scăzut. De aceea rezistă mai bine ca ţesutul osos la diverşii factori agresivi.

Nutriţia cartilajului se face prin vasele capsulo-sinoviale, care formează un cerc în jurul lui, prin vasele ţesutului osos subiacent şi prin lichidul sinovial. Experimental, în condiţii fiziologice, pînă astăzi a fost imposibil să se determine care din aceste elemente este mai important pentru nutriţie. Unii autorii înclină să creadă că lichidul sinovial ar avea rolul preponderent şi nutriţia s-ar face prin imbibiţie.

În ultimul timp s-a acordat o atenţie deosebită şi raporturilor dintre cartilaj şi ţesutul osos subiacent. Între aceste două formaţii există o continuitate hidrică, deoarece baza calcificată a cartilajului şi spaţiile medulare ale spongioasei iau, în unele puncte, contact direct printr-o serie de orificii de tip ampular, cu un diametru de 10—50 microni în medie.

Cartilajul articular se poate însă nutri suficient şi fără să fie în raport cu ţesutul osos subiacent. Acest fapt se dovedeşte prin aceea că dacă un mic fragment de cartilaj (datorită unor condiţii patologice speciale, ca în osteocondritele disecante) se dezlipeşte de pe epifiză şi rămîne liber în articulaţie, el nu suferă un proces de degenerare, ci continuă să trăiască, fie că se lipeşte de un franj sinovial, fie că înoată în lichidul sinovial. De cele mai multe ori creşte ca volum, deoarece lichidul sinovial reprezintă pentru el un bun mediu de hrană şi dezvoltare şi devine un veritabil „şoarece articular“.

Cartilajul articular este lipsit de inervaţie şi de aceea agresiunile, de orice natură ar fi ele, nu pot determina senzaţii dureroase. Patologia cartilajului articular rămîne deci pasivă şi tăcută.

Cartilajul beneficiază de trei proprietăţi mecanice, care-i sînt indispensabile : este compresibil, elastic şi poros. El joacă un rol de amortizor pentru ţesutul osos subiacent, care s-ar eroda prin frecare. O presiune relativ mare şi mai îndelungată, care se exercită prin intermediul cartilajului, nu are efecte nocive asupra osului, dar presiunea exercitată direct asupra unei suprafeţe periostice poate duce la necroză osoasă. Astfel se explică de ce unele articulaţii pot suporta, fără urmări, presiuni foarte ridicate, chiar peste 350 kg. Pînă la o anumită presiune deformarea cartilajului este restabilită, dar devine ireversibilă cînd depăşeşte pragul amintit, în care caz se ajunge la înfundări şi fisurări ale cartilajului.

Mişcările normale sînt absolut necesare întreţinerii şi menţinerii cartilajelor articulare, deoarece înlesnesc difuziunea lichidului sinovial pe suprafaţa acestui ţesut. Presiunile continue se opun difuzării substanţelor nutritive şi consecinţa este apariţia tulburărilor trofice. De aceea este necesar ca presiunile să fie intermitente, pentru a favoriza nutriţia cartilajului.

Presiunea mijlocie de lungă durată este însoţită de exudare de apă din cartilaj şi este nevoie de un oarecare timp pentru ca deformarea să dispară. După o zi de lucru în staţiune bipedă, talia scade cu 1—2 cm, ca urmare a compresiunii discurilor intervertebrale şi a cartilajelor membrelor inferioare.

Elasticitatea este a doua proprietate a cartilajului. Cartilajul este de obicei mai elastic la centru decît la periferia suprafeţei articulare şi această proprietate este în funcţie de structura lui, deoarece cămăruţele cu celule joacă rolul unor pneuri. Elasticitatea substanţei hialine este în raport cu conţinutul în apă, care în mod normal este de 50—60%. Deshidratarea atrage reducerea elasticităţii cartilajului şi în consecinţă generează apariţia artrozelor senile.

Structura arcuită şi cu cămăruţe permite, în cazul unor presiuni exercitate pe o suprafaţă mai întinsă, ca arcurile să se încline şi acestea să se repartizeze pe o suprafaţă şi mai întinsă (fig. 36) ; absenţa fibrelor transversale permite o largă desfăşurare a cartilajului, precum şi o rezistenţă deosebită la presiunile tangenţiale.

A treia proprietate a cartilajului articular este porozitatea, care permite îmbibarea lui cu lichidul sinovial ca un burete.

Fiind un ţesut fragil, cartilajul nu este prea trainic şi îmbătrîneşte rapid, ajungînd la anumite degenerescenţe senile, care au la bază o serie de depolimerizări ale mucopolizaharidelor ce iau parte la alcătuirea substanţei fundamentale a cartilajului.

Acesta, fiind un organ stabilizat, ajuns la sfîrşitul evoluţiei sale, nu poate decît degenera. Vîrsta, traumatismele, infecţiile chiar foarte latente, duc la deshidratare, ramolire, festonare sau resorbţie şi condroclazie. Primele două alterări pot fi reversibile prin repaus prelungit. În cazul în care presiunile şi tracţiunile articulare fiziologice diminuă sau nu se mai exercită, ca şi în mobi-

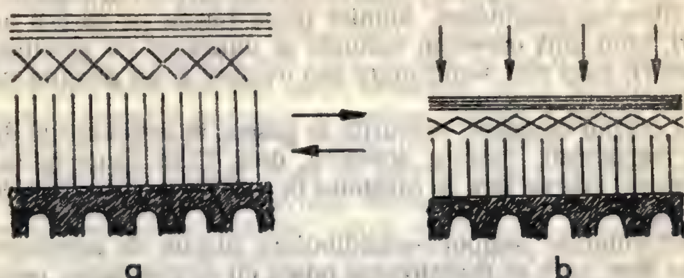


Fig. 36 — Cartilaj articular nesupus la compresiune (a) şi supus unei compresiuni fiziologice (b). Fibrele colagene din zona de tranziţie ajung să se orienteze aproape tangenţial şi revin la aspectul lor normal, după ridicarea compresiunii fiziologice (după Mc. Call).

lizările articulare prelungite, cartilajele articulare sînt invadate de vase, care transportă celulele ce vor construi ţesut osos pe măsură ce cartilajul se resoarbe. În acest mod se ajunge la *anchiloză*.

Bureletul fibro-cartilaginos. Unele articulaţii, cum ar fi enartrozele, nu dispun de suprafeţe articulare egale ca întindere. Exemple tipice sînt articulaţiile scapulo-humerală şi coxo-femurală. Sferele pline ale capetelor humerale şi femurale prezintă suprafeţe articulare mai întinse decît sferele scobite ale cavităţilor glenoide şi cotiloide. Constatarea, căpătînd aspecte generale, s-a exprimat sub forma „legii inegalităţii suprafeţelor articulare" *(Mac Conaill)*. Pentru compensarea suprafeţelor articulare care lipsesc de la cavităţile glenoide şi cotiloide, acestea prezintă un burelet fibro-cartilaginos, care prelungeşte marginile cavităţilor.

Bureletele sînt circulare, ca şi marginile cavităţilor ; pe o secţiune transversală au o formă prismatic triunghiulară, cu baza inserîndu-se pe marginea cavităţilor. Faţa externă vine în contact cu capsula articulară cu care aderă, iar faţa internă şi vîrful privesc spre cavitatea articulară. Rolul lor nu este numai

de a mări suprafaţa articulară a cavităţilor, ci şi de a menţine suprafeţele în contact. Avînd o formă inelară, ele înconjură capul, reprezentînd astfel unul din elementele care asigură contenţia articulară.

Discurile şi meniscurile. În unele articulaţii, deoarece suprafeţele articulare ale extremităţilor osoase nu se adaptează perfect, se dezvoltă, pentru menţinerea congruenţei, nişte formaţiuni fibro-cartilaginoase, numite după forma pe care o au fie *discuri*, cînd sînt oarecum rotunde şi uniforme ca grosime, fie *meniscuri*, cînd sînt semilunare sau ovalare şi au grosimi variabile, în diferite porţiuni.

În corpul omenesc, discurile se găsesc în articulaţiile dintre corpii vertebrali. Asupra acestora, dată fiind importanţa lor, vom reveni mai pe larg în capitolul în care vom prezenta coloana vertebrală.

Articulaţiile temporo-mandibulare dispun de asemenea de cîte un disc, care se mobilizează odată cu extremitatea osoasă a mandibulei, permiţînd acestor articulaţii să dispună atît de mişcări de translaţie, cît şi de mişcări de propulsie. In 34—40% şi articulaţiile acromio-claviculare prezintă cîte un disc.

Meniscurile se întîlnesc la nivelul articulaţiilor genunchilor şi vom reveni asupra lor mai pe larg, în capitolul în care vom analiza genunchiul.

Atît discurile, cît şi meniscurile acţionează datorită compresibilităţii şi elasticităţii lor ca nişte resorturi, reprezentînd veritabile amortizoare împotriva şocurilor şi contribuind la mărirea supleţei articulaţiilor respective.

Capsula articulară. Într-o diartroză, cavitatea virtuală articulară ocupă tot spaţiul interosos, iar mijloacele de legătură între piesele osoase rămîn la periferie. Reprezentate prin capsula articulară şi prin ligamentele articulare, aceste mijloace realizează o legătură strînsă între oase, pe care le ţin în contact, permiţînd şi deseori direcţionînd mişcările.

Capsula articulară este o formaţie conjunctivă care continuă periostul celor două segmente osoase. Ea se prezintă ca un manşon a cărui inserţie se face în jurul epifizelor, chiar la marginea cartilajelor articulare, cînd articulaţiile au mişcări mai limitate, sau ajunge pînă la nivelul metafizei, cînd articulaţiile au mişcări foarte ample.

Capsula articulară se compune din două straturi, fiecare avînd o structură şi o funcţie diferite. Stratul extern fibros este în realitate continuarea stratului extern corespunzător al

periostului, iar stratul intern sinovial se oprește la periferia cartilajului articular.

Capsula formată cu predominență din fibre colagene are o grosime variată, deci o rezistență inegală. Mai groasă în unele locuri, ea apare întărită de fascicule fibroase, individualizate sub formă de *ligamente capsulare*. Acestea sînt de fapt îngroșări ale capsulei și se găsesc acolo unde frînarea mișcărilor, peste o anumită limită, este necesară, ceea ce presupune o rezistență mărită din partea ei. În alte locuri, capsula fibroasă este mai subțire, avînd o textură mai rară, în care se pot distinge sisteme de fibre mai mult sau mai puțin orientate, după felul tracțiunilor care se exercită cu ocazia anumitor mișcări. Capsula fibroasă se reduce pe alocuri pînă la dispariția completă, cavitatea articulară rămînînd închisă doar de stratul intern, foarte subțire, format din membrana sinovială. Aceasta herniază, îmbracă formațiunile vecine articulației, adică tendoanele, și se strecoară pe sub mușchii periarticulari, formînd *funduri de sac* sau *pungi sinoviale*. Acestea au un rol mecanic important, deoarece, înlesnesc alunecarea tendoanelor și mușchilor peste articulație și funcționează totodată ca rezervoare ale lichidului care se cumulează în timpul repausului.

Pentru ca sinoviala să nu fie prinsă între suprafețele articulare în timpul mișcărilor, articulația este prevăzută cu o serie de *mușchi tensori ai capsulei articulare*, care se inseră pe aceste funduri de sac, întinzîndu-le la momentul oportun.

Fibrele capsulare prezintă o *structură traiectorială*, determinată de direcția tracțiunilor ce se exercită asupra lor în timpul mișcărilor variate pe care le execută articulația. Există *fibre longitudinale* produse prin mișcările de flexie și extensie, care continuă traiectoriile similare de periost ; ele întind capsula în axa lor longitudinală. Există apoi *fibre oblice* pe fața anterioară și posterioară a articulației, sub acțiunea mișcărilor de rotație externă și internă, în care caz fibrele respective se încrucișează. Cînd mișcarea de răsucire este exercitată puternic, fibrele colagene își măresc foarte mult oblicitatea, pînă se așază transversal pe axa capsulei, devenind astfel circulare. În acest caz apar așa-numitele ligamente *orbiculare*. Cînd aceste fascicule capsulare se țes strîns, în peretele capsulei, ele se transformă într-o *membrană fibroasă*.

Deosebit de ligamentele capsulare în părțile laterale ale articulațiilor se dezvoltă *ligamentele funiculare*, care limitează mișcările de lateralitate. Sînt de obicei ligamente extraarticulare, adică în afară și la oarecare distanță de capsula articulară.

În interiorul unor anumite articulații se dezvoltă ligamente care măresc siguranța mișcărilor, cum sînt *ligamentele încrucișate ale genunchiului* sau *ligamentele interosoase* din articulația subastragaliană, sterno-claviculară etc. pe care le îmbracă sau nu sinoviala articulară. Un exemplu tipic de ligament intraarticular prezintă și articulația coxo-femurală, sub numele de *ligament rotund*.

Din punct de vedere funcțional, ligamentele articulare se grupează în *ligamente ajutătoare*, care consolidează legătura dintre oase, și *ligamente frenatoare*, care frînează mișcările pînă la o limită.

În unele cazuri, tendoanele unor mușchi pătrund în capsula articulară (de exemplu, tendonul bicepsului brahial, care intră în articulația scapulo-humerală), îmbrăcîndu-se cu sinoviala, care, sub influența mișcărilor, se prelungește de-a lungul tendonului, funcționînd ca o teacă sinovială, ca să micșoreze frecarea tendonului pe culisa bicipitală osoasă.

Mușchii periarticulari. În menținerea contactului între suprafețele articulare mai intervin, în afara ligamentelor pasive, și mușchii periarticulari. Ei funcționează ca *ligamente active* tonice și unii dau chiar fascicule care au și o inserție capsulară. Astfel, la articulația scapulo-humerală, musculatura este aceea care menține congruența articulară, deoarece ligamentele sînt slab dezvoltate din cauza marii mobilități a acestei articulații. Legătura activă reprezentată de mușchii periarticulari permite menținerea în contact a extremităților articulare, dar îngăduie și o amplă mobilitate articulară atît timp cît integritatea aparatului neuro-muscular este intactă. Cînd mușchii periarticulari paralizează, articulația scapulo-humerală se luxează.

Sinoviala. Stratul intern al capsulei articulare poartă numele de sinovială. De la *Bichat* (1 800) se consideră în mod greșit sinoviala drept o seroasă, ca pleura sau ca pericardul. *Echivalarea sinovialei cu o seroasă nu este cu nimic îndreptățită, fiind vorba de două formații de origine embriologică diferită, cu o structură histologică și cu o funcție deosebite.* Seroasele au o origine endoblastică, iar sinoviala o origine mezoblastică. Ca structură histologică, sinoviala nu poate fi considerată o seroasă, ea fiind alcătuită dintr-o simplă stromă conținînd celule. Stroma prezintă fibre colagene orientate în sensul tracțiunilor mecanice și nu are fibre elastice. Acolo unde fibrele sînt puțin numeroase, ea are oarecum aspectul de aponevroză.

Cele mai multe celule sînt histiocitare, mari, clare, mai mult sau mai puţin stelate. Un număr mai mic dintre ele sînt fibroblaşti. Celulele se înmulţesc spre suprafaţa internă, unde se dispun în planuri neregulate, *dar nu formează niciodată un înveliş continuu, aranjat pe o bazală, ca la o seroasă.* Sinoviala este, deci, un ţesut conjunctiv-histocitar.

Cavitatea sinovială nu trebuie interpretată decît ca o vastă lacună conjunctivă, în continuitate hidrică şi moleculară cu lichidele extraarticulare. Celulele sinovialei sînt generatoare de mari cantităţi de hialuronaţi bogaţi în mucină, explicîndu-se astfel originea mucusului din lichidul sinovial.

Sinoviala se întinde pe toată faţa profundă a capsulei articulare, constituind ea singură uneori, după cum am văzut, peretele capsulei, acolo unde lipseşte stratul fibros extern al acesteia. Ea se opreşte la limita cartilajului articular, care nu este deci acoperit de sinovială decît spre marginea sa. În fundurile de sac sinoviale, precum şi în unele locuri unde congruenţa articulară nu este perfectă, sinoviala se acumulează ca să umple golurile cînd articulaţia se află în repaus. În plus, sinoviala joacă şi rolul unui element plastic, deoarece umple spaţiile care se formează în anumite mişcări între extremităţile articulare.

În afara fundurilor de sac, care reprezintă prelungirile externe ale sinovialei, mai sînt şi prelungiri interne, intraarticulare, sub forma unor ciucuri foarte bine vascularizaţi, numiţi *vilozităţi sinoviale,* sau a unor cute pline de ţesut grăsos numite *plăci adipoase,* care umplu spaţiile goale, pentru a asigura vidul articular.

Sinovialei îi revine delicatul rol de a menţine în spaţiul articular condiţiile favorabile funcţiei articulare. Ea are funcţii multiple, de reglare a temperaturii şi presiunii atmosferice şi de resorbţie atît a lichidului sinovial, cît şi a deşeurilor articulare, care pot fi în suspensie. Nefiind o seroasă propriu-zisă, ca pleura sau peritoneul, sinoviala nu are aproape nici o proprietate de a se opune infecţiei.

În cazurile de mobilizare totală a articulaţiei, sinoviala redevine un ţesut conjunctivo-histocitar tînăr, care proliferează şi ajunge puţin cîte puţin să umple cavitatea. Dacă imobilizarea se prelungeşte foarte mult, ţesuturile îmbătrînesc, devin dens conjunctive şi se ajunge astfel la o anchiloză fibroasă strînsă, deseori ireversibilă.

Lichidul sinovial. Nu este un produs de secreţie al sinovialei, neavînd celule secretoare ca seroasele propriu-zise. El are

o dublă origine, fiind format pe de o parte din transsudatul de lichid plasmatic ce ajunge în articulaţie (trecînd atît prin pereţii capilarelor perisinoviale, care sînt permeabili în ambele sensuri, cît şi prin pereţii vilozităţilor), iar pe de altă parte din produsele de descuamaţie de pe faţa superficială a sinovialei, dar mai ales de pe aceea a cartilajelor articulare şi care rezultă prin frecare în timpul mişcărilor. *Mişcarea constituie deci factorul principal al producerii de sinovie.*

În plus, lichidul sinovial conţine şi mucină (hialuronat) produs, după *Ropes* şi *Bauer*, de celulele stratului interior al membranei sinoviale. Mucina rezultă din combinarea unei proteine, cu un mucopolizaharid-acid, denumit *acidul hialuronic*, sintetizat de celulele histiocitare (fibroblaste şi mastocite).

Acidul hialuronic este un polimer tridimensional alcătuit din aproximativ 5.000 unităţi dizaharidice dispuse în lungime şi prezenţa lui imprimă lichidului sinovial caracterul de vîscozitate, conferindu-i proprietăţi lubrifiante. Cu cît gradul de polimerizare a acidului hialuronic este mai mare, cu atît vîscozitatea lichidului sinovial va fi mai mare.

Lichidul sinovial are culoarea uşor gălbuie, este vîscos, transparent, are un pH în jurul lui 7,4 şi o greutate specifică de 1,008—1,010. Compoziţia sa citologică este următoarea : monocite 47%, limfocite 25%, granulocite 7%, celule neclasificate 2%. Majoritatea celulelor lichidului sinovial au proprietăţi fagocitare.

Studiul compoziţiei chimice ne arată că, spre deosebire de plasma sanguină, lichidul sinovial are mai puţine protide totale (15—21 g) şi mai puţină glucoză, dar conţine cloruri în cantitate mai mare. Aceasta s-ar explica prin faptul că sinoviala, fiind o membrană semipermeabilă, asigură articulaţiei prin „echilibrul de membrană“ *(Donnan)*, restabilirea echilibrului osmotic. Scăderea protidelor este compensată printr-un exces de molecule de NaCl.

Lichidul sinovial are un triplu rol : de nutriţie, de curăţire şi de lubrifiere.

Cartilajul articular care este poros, trăieşte în cea mai mare parte datorită imbibiţiei cu lichid sinovial. Dacă se presează în laborator un cartilaj articular recent recoltat, se extrage din el un lichid care prezintă toate caracteristicile sinoviei. Elasticitatea cartilajului articular joacă, deci, un rol important în circulaţia lichidului sinovial din interiorul său.

De asemenea, sinovia curăţă continuu produsele de descuamare superficială rezultate din aplicarea forţelor de frecare şi

de apăsare asupra cartilajelor articulare. Eliminarea acestor produse, ca şi a lichidului care le transportă, este asigurată de proprietăţile osmotice ale sinovialei şi ale capsulei articulare. Lichidul sinovial este astfel în permanenţă schimbat, iar deşeurile cartilaginoase pe care le conţine sînt fagocitate sau transformate, adăugîndu-se ca aliment cartilajului de încrustare.

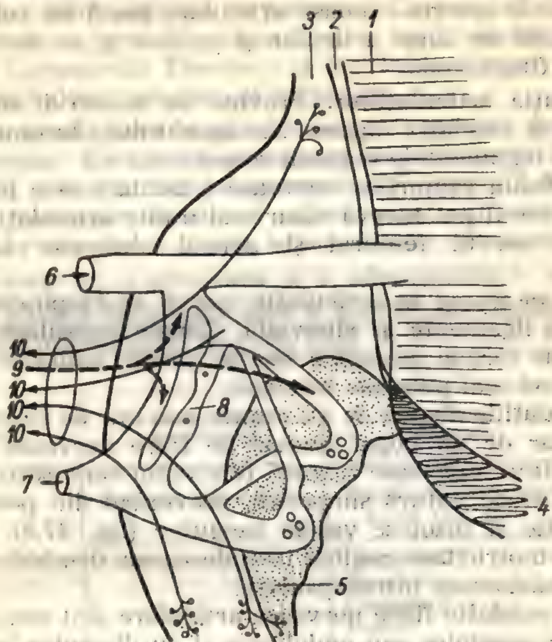


Fig. 37 — **Vascularizaţia şi inervaţia articulaţiilor:**
1 — os ; 2 — periost ; 3 — capsulă articulară ; 4 — cartilaj articular ; 5 — sinovială ; 6 — arteră ; 7 — venă ; 8 — anastomoze arterio-venoase ; 9 — fibre motorii pentru pereţii vaselor ; 10 — fibre senzitive de la receptori.

Vascularizaţia articulaţiilor. Din trunchiurile arteriale ale membrelor sau din colateralele lor pornesc pentru toate articulaţiile o serie de *ramuri articulare*. Acestea realizează în jurul capsulei articulare *o reţea periarticulară*, din care pornesc dealtfel şi *arterele epifizare* (fig. 37).

Înainte de a pătrunde în epifize, arterele epifizare se ramifică întîi în interiorul capsulei articulare propriu-zise, alcătuind

rețeaua intracapsulară, apoi în interiorul sinovialei, alcătuind o bogată *rețea intrasinovială*.

După ce străbate sistemul capilar, sîngele este colectat de vene. La adult, în afara sistemului capilar arterio-venos, între artere și vene se mai formează și un mare număr de anastomoze arterio-venoase (fig. 37,8), care nu se observă la articulațiile nou-născuților, al căror număr descrește cu înaintarea în vîrstă. Anastomozele arterio-venoase articulare joacă un rol în reglarea aportului de sînge articular și epifizar și se dezvoltă ca o necesitate funcțională.

Inervația articulațiilor. Provine de la nervii micști, care inervează și celelalte organe ale aparatului locomotor (oase, mușchi) și tegumentele regiunii respective.

Distribuția ramurilor nervoase articulare este foarte diferită. Unii nervi pot inerva chiar mai multe articulații mari (de exemplu : nervul femural și nervul obturator la șold și genunchi).

După ce ajung în articulație, nervii se răspîndesc larg în capsulă, la ligamente și sinovială. Zonele capsulare cele mai solicitate de forțele mecanice sau de nivelul calitativ al mișcărilor, sînt cel mai puternic inervate.

Articulațiile dispun de un număr mai mic de fibre nervoase motorii, dar de un bogat număr de fibre nervoase senzitive. Singurele fibre nervoase motorii (eferente) care pătrund în articulație sînt de natură simpatică, provenind din post-ganglionul simpatic și însoțesc vasele sanguine (fig. 37,9). Ele joacă rol în vaso-motricitate, reglînd închiderea sau deschiderea numeroaselor anastomoze intracapsulare.

Toate celelalte fibre nervoase articulare sînt senzitive (aferente), sînt mielinice sau amielinice și au diametre între 1—17 microni. Parte din ele se termină într-o serie de *terminații nervoase libere*. Fibrele care au dimensiuni între 7—10 microni se termină însă cu o serie de *proprioceptori specializați* (chemoreceptori, baro-receptori, mecano-receptori).

Numărul acestor proprioceptori diferă de la o articulație la alta. Astfel, în jurul unei articulații interfalangiene, se găsesc în mod obișnuit cîte 15 proprioceptori, dar în jurul primei articulații interfalangiene a indexului, care este degetul sensibilității, se găsesc 22 proprioceptori, în timp ce în jurul articulației cotului se găsesc 96 proprioceptori. Se poate afirma deci, că articulația dispune de un număr de receptori senzitivi egal cu cel al tegumentelor, ceea ce o transformă într-un veritabil organ senzorial periferic.

Examenele histologice au pus în evidență la nivelul articulațiilor următoarele tipuri de receptori : terminații nervoase libere $A\varepsilon_1C$, corpusculi *Golgi-Manzoni*, corpusculi *Krause*, corpusculi *Ruffini*, corpusculi *Timofeev* și corpusculi *Vater-Pacini* mici.

Terminațiile nervoase libere $A\varepsilon_1C$ au forma unor arborizații variate ca aspect și se găsesc în capsula articulară, mai ales la nivelul joncțiunii acesteia cu periostul. Corpusculii *Golgi-Manzoni* și *Krause* se găsesc în capsulă și în jurul tendoanelor periarticulare. Corpusculii *Timofeev* și *Ruffini* sînt legați de fibrele colagene capsuloligamentare și periostice.

Viteza de adaptare la stimulii continui variază după fiecare tip de receptor. Receptorii amorsează depolarizarea fibrei prin intermediul potențialului lor generator. Potențialul lor generator nu se transmite, ci numai suferă o intensificare temporospațială care invadează zonele adiacente ale cilindraxului.

Receptorii au o structură și o adaptabilitate diferită în raport cu natura factorului care îi stimulează. Redăm în continuare un tabel sinoptic în acest sens.

Stimulul	Modalitatea sensibilității	Structura receptorului	Adaptabilitatea receptorului
Mecanic	Presiune puternică	Terminații nervoase libere ($A\varepsilon_1$ C)	Lentă
	Tracțiune	Corpusculi Timofeev	Lentă
		Corpusculi Ruffini	Lentă
	Amploarea mișcării	Fusuri musculare	Lentă
	Direcția mișcării	Corpusculi Golgi-Manzoni	Lentă
	Unghiul articular	Corpusculi Vater-Pacini mici	Rapidă
		Corpusculi Ruffini	Lentă
Temperatură	Căldură	Terminații nervoase libere ($A\varepsilon_1$ C)	Lentă
		Corpusculi Ruffini	Lentă
	Frig	Terminații nervoase libere ($A\varepsilon_1$ C)	Lentă
		Corpusculi Krause	Lentă

7 — Anatomia funcțională și biomecanica aparatului locomotor — cd. 271

(continuare)

Stimulul	Modalitatea sensibilităţii	Structura receptorului	Adaptabilitatea receptorului
Mecanic maxim	Durere	Terminaţii nervoase libere (A_s, C)	Lentă
Variaţii pH intra-articular		Corpusculi Vater-Pacini mici	Rapidă

Durerea profundă se transmite prin fibre mici amielinice. Frigul şi căldura sînt transmise prin fibre mici mielinice (banda delta, fibre A). Poziţia segmentelor articulare se transmite prin fibre groase mielnice (banda beta, fibre A).

Calea urmată în continuare de fibrele proprioceptive articulare nu este bine cunoscută. Fibrele aferente proprioceptive se întîlnesc în trunchiurile nervilor femural, obturator şi marele sciatic. În unele teritorii ale măduvei spinării, fibrele proprioceptive mielinice se pot recunoaşte în coloana veziculoasă a lui *Clarke*, la nivelul bulbului se pot recunoaşte în nucleii *Burdach* şi mai sus în banda lui *Reil* mediană, apoi ele se pierd în paleocerebel (vermis) şi ajung în cortexul somestezic.

Creierul primeşte şi de la nivelul articulaţiilor un flux de senzaţii în perpetuă schimbare. Diferitele senzaţii sînt sintetizate în experienţe tridimensionale. Mecanismele nervoase centrale, ca intrarea în memorie şi introspecţia influenţează la rîndul lor percepţia conştientă a mediului extern. Sensibilitatea proprioceptivă este deci, cum se exprimă *Omer* (1973), aprecierea conştientă şi interpretarea unui stimul proprioceptiv care a provocat o senzaţie.

Viteza de conducţie la nivelul fibrelor senzitive proprioceptive oscilează între 45—75 m/s (*Bateman* — 1962). Forma potenţialului de acţiune apare remarcabil constantă, oricare ar fi natura stimulului.

Eficacitatea funcţională a releului proprioceptiv este impresionantă. O mişcare pasivă de numai 1 mm, la nivelul articulaţiei este imediat identificată şi individul chiar cu ochii legaţi, o poate reproduce cu o aproximaţie de 2 mm (*Cohen* — 1958).

Noţiuni de hidrodinamică şi de tribologie articulară. Al treilea rol al lichidului sinovial, acela de lubrifiere, care este dealtfel şi cel mai important, deschide larg studiul hidrodinamicei şi tribologiei articulare.

Tribologia se ocupă cu studiul forţelor care permit ca două corpuri solide alăturate să se deplaseze unul pe celălalt. Cum deplasarea se realizează în urma unei forţe tangenţiale, acestea vor depinde de :

a) masa corpurilor care se deplasează,

b) forma suprafeţelor de contact,

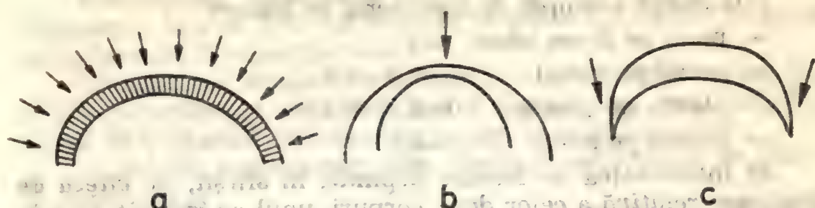


Fig. 38 — Modificarea forţelor de frecare în raport cu cele ale presiunilor unitare, la două suprafeţe sferice congruente (a) şi necongruente (b şi c) (după L. Sedel).

c) natura chimică a acestor suprafeţe,

d) viteza de deplasare relativă,

e) existenţa unui lichid intermediar.

a) Intensitatea de frecare depinde în primul rînd de *masa corpurilor*, în raport cu întinderea suprafeţei de contact. Dacă masa se măreşte, fricţiunea va scădea cu atît mai mult, cu cît suprafaţa de contact va fi mai mică, dar în schimb va creşte considerabil *presiunea unitară*, adică forţa de presiune a masei, pe unitatea de suprafaţă, ceea ce va favoriza uzura mai rapidă a suprafeţelor de contact.

b) Intensitatea de frecare depinde în al doilea rînd de *forma spaţială* a suprafeţei de contact. Două suprafeţe plane ca la artrodii se vor freca altfel între ele, decît două suprafeţe sferice ca la enartroze de exemplu. În cazul acestora din urmă intensitatea de frecare este dependentă de congruenţa suprafeţelor de contact. Cînd congruenţa este perfectă (fig. 38 a) frecarea este ridicată, dar presiunile unitare sînt mici. Cînd suprafeţele sînt incongruente (fig. 38 b şi c), frecarea este scăzută, dar presiunile unitare sînt ridicate.

c) Intensitatea de frecare depinde în al treilea rînd de *natura chimică* a suprafeţelor de contact. Din acest punct de vedere, ea este dependentă de un „coeficient de frecare", care rămîne fix pentru cuplul substanţelor considerate.

Coeficientul de frecare (μ=sigma) se calculează raportînd forța necesară deplasării (F) la masa corpurilor ce se deplasează (M). La o viteză constantă forța F este proporțională masei M :

$$\mu \text{ (sigma)} = \frac{M}{F}$$

Iată cîteva exemple de coeficienți de frecare :

— pneu pe drum uscat =1
— metal pe metal =0,3—0,8
— plastic pe plastic =0,1—0,3
— plastic pe metal =0,3.

d) Intensitatea de frecare depinde, în sfîrșit, de *viteza de deplasare relativă* a celor două corpuri, unul pe celălalt, ea scăzînd pe măsură ce viteza crește. La începutul deplasării viteza este mică, iar forța de frecare mare („maximum de frecare statică"). Pe măsură ce viteza crește, forța de frecare scade ajungînd la ceea ce se denumește „frecare de alunecare" (fig. 39).

e) Articulațiile dispun însă și de un *lichid intermediar* între suprafețele osoase în contact, ceea ce influențează radical intensitatea forțelor de frecare.

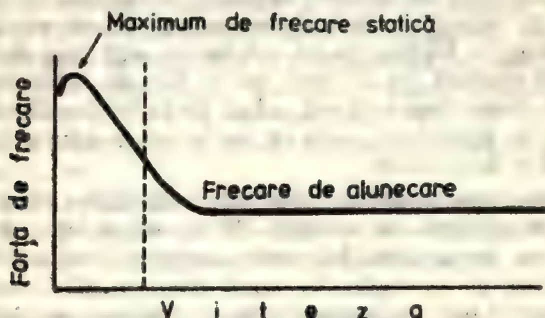


Fig. 39 — Modificarea forțelor de frecare în raport cu viteza de deplasare (după Frankel și Burnstein).

Lichidul sinovial prezintă o serie de proprietăți caracteristice care-i conferă un rol principal în dinamica articulară, aceste proprietăți fiind : tensiunea de suprafață, elasticitatea, conductibilitatea termică și vîscozitatea lui.

Tensiunea de suprafață permite lichidului sinovial să adere ca o peliculă la suprafața cartilajelor articulare și a eventualelor discuri și meniscuri.

Elasticitatea și dilatarea spontană la o forță de presiune oarecare împiedică expulzarea lichidului din spațiul articular.

Conductibilitatea termică bună asigură transferul de căldură între suprafețele adiacente în mișcare.

Vîscozitatea, datorită gradului de polimerizare a acidului hialuronic, face ca lichidul sinovial să poată fi încadrat în grupa lubrifiantelor clasice cunoscute.

Caracteristic pentru orice lichid rămîne vîscozitatea lui. Din punct de vedere al relațiilor dintre vîscozitatea unui lichid și viteza de deplasare, lichidele se împart în două categorii :

— lichide newtoniene, care rămîn neinfluențate de viteza de deplasare și

— lichide non-newtoniene, care sînt influențate de viteza de deplasare.

Lichidul sinovial este non-newtonian și vîscozitatea lui scade pe măsură ce viteza crește (*King* — 1966, *Davies* — 1967, *Vos* și *Theyse* — 1969). Vîscozitatea lichidului sinovial scade de asemenea pe măsură ce sarcina de încărcare se mărește (*Linn*— 1968). Prin aceste calități, lichidul sinovial se arată a fi un lubrifiant ideal.

Mecanismul intim al lubrifierii a încercat să fie explicat prin referire la teoriile ungerii din mecanica obișnuită și mai importante din acest punct de vedere, apar trei teorii : teoria ungerii prin stratul limită, teoria ungerii hidrodinamice și teoria ungerii elasto-hidrodinamice.

Teoria ungerii prin stratul limită, susținută de *Charnley* afirmă că ungerea se face prin însăși pelicula de lubrifiant existentă între cele două suprafețe articulare, peliculă care aderă strîns de cele două suprafețe, pe care le protejează. Spre marginea peliculei, unde există un contact mai strîns al suprafețelor articulare în mișcare, apare o uzură mai accentuată.

Teoria ungerii hidrodinamice susținută de *Barnett, Daviss* și *Mc. Caraill* susține că pelicula de lubrifiant, pompată sub presiune între suprafețele mobile articulare, datorită elasticității și contrareacției ei de dilatare, menține la distanță suprafețele articulare, creîndu-se astfel în spațiul articular condiții hidrodinamice, care fac ca frecarea să fie redusă la minimum și uzura să fie practic nulă.

Teoria ungerii elasto-hidrodinamice susținută de *Mac Cuthen* și *Dietenfoos*, consideră că în mecanismul ungerii intervin

în egală măsură pelicule de lichid sinovial și cartilajul articular și că lubrifierea rezultă ca o interacțiune complexă între ambele elemente.

Indiferent care ar fi mecanismul intim al ungerii, aceasta reprezintă un proces continuu al suprafețelor articulare, lichidul sinovial fiind recirculat, ca și la mașini. Deosebirea constă însă în aceea că la mașini, mișcarea de deplasare a lubrifiantului este nedirecționată, în timp ce în articulațiile omului ea este oscilatorie : de exemplu, lichidul expulzat în timpul mișcării de flexie este recuperat de mișcarea de extensie. Natura oscilantă a mișcărilor face ca lichidul expulzat dintre suprafețele articulare în timpul unei mișcări într-un sens, să fie readus de mișcarea următoare, care este de sens opus.

Lubrifierea articulară trebuie înțeleasă ca un proces încă mult mai complex, întrucît se referă la mai multe sisteme total diferite în caracteristicile lor morfo-funcționale. Astfel, *Radin* și *Paul* (1972) recunosc o lubrifiere a țesuturilor moi și una a cartilajului.

Lubrifierea țesuturilor moi se referă în special la lubrifierea suprafețelor sinoviale de către lichidul sinovial. Lubrifierea se realizează nu datorită vîscozității lichidului sinovial, ci datorită naturii ei chimice de care depinde greutatea sa moleculară, precum și concentrația sa în acid hialuronic. Coeficientul de frecare al sinovialei pe sinovială este de 0,01.

Lubrifierea cartilajului pe cartilaj se realizează în condiții mecanice aproape ideale, prezența lichidului sinovial scăzînd coeficientul de frecare la valori minime, cuprinse între 0,003 și 0,03.

Experiențele au fost efectuate cu ajutorul pendulei lui *Stanton* atît pe articulații de om, cît și pe articulații de animale prelevate proaspăt cu aparatul capsulo-liagamentar intact și conținînd lichid sinovial normal.

Tabel cu valorile obținute de diverși autori asupra coeficientului de frecare

Autorul	Anul	Articulația	Coeficientul de frecare
CHARNLEY	1959	Gleznă de om	0,014–0,024
BARNETT și COBBOLD	1962	Gleznă de cîine	0,018–0,03
LINN	1968	Gleznă de cîine	0,0044
LITTLE și colab.	1969	Șold de om	0,003–0,015

O altă serie de cercetători au încercat să stabilească coeficientul de frecare obținut între cartilajul articular, pe de o parte, și alte substanțe, pe de altă parte.

Tabel cu valorile obținute de diverși autori asupra coeficientului de frecare dintre cartilaj și alte substanțe

Autorul	Anul	Substanța	Coeficientul de frecare
DOWSON și WRIGHT	1971	Sticlă	0,0014–0,1
Mc.CUTCHEN	1959	Sticlă	
WALKER și colab.	1969	Sticlă	
Mc.CUTCHEN	1966	Cauciuc	0,15–0,8
Mc.CUTCHEN	1966	Plastic	

Majoritatea experiențelor au demonstrat astfel, că frecarea dintre cartilaj și cartilaj este mai mică decît aceea dintre cartilaj și alte substanțe.

În cazul diminuării cantității de lichid sinovial sau al dispariției acestuia apare *frecarea patologică,* deci rezistența la mișcare a unei suprafețe articulare, față de cealaltă, scade. Frecarea patologică a suprafețelor articulare antrenează rapid uzura lor și instalarea proceselor degenerative. Și modificările calitative ale lichidului sinovial produc aceleași efecte. S-a demonstrat astfel experimental că pierderea vîscozității prin diminuarea cantității de acid hialuronic în urma injecțiilor intraarticulare cu hialuronidază, duce la apariția uzurii cartilajelor articulare (*Barnett*). Diminuarea vîscozității apare în mod normal la vîrstnici și sedentari, precum și în anumite condiții patologice (*Rinonapoli ; Jebens* și *Mink ; Dietenfoos* etc.).

Condițiile hidrodinamice normale ale spațiului articular fac ca mișcările să se realizeze fără frecarea suprafețelor articulare și fără producerea leziunilor de uzură. Cînd articulația este în repaus sau se mișcă încet, sinovia se întinde pe stratul superficial al cartilajului sub forma unui strat fin, aproape monomolecular, aderînd uniform, fără soluții de continuitate, iar atunci cînd mișcarea se accelerează, vîscozitatea diminuă, ceea ce reduce din opunerea sa la funcția mărită a articulației.

Zgomotul de pocnitură articulară cînd articulația trece oarecum brusc de la repaus la mișcare (zgomot care este uneori des-

tul de puternic), se datorește greutății dezlipirii dintre suprafețele articulare lubrifiate de pelicula respectivă de lichid sinovial vîscos.

CARACTERISTICILE MORFO-FUNCȚIONALE ALE MUȘCHIULUI STRIAT

Una dintre cele mai reprezentative definiții din multele care s-au dat mușchiului striat o datorăm lui *Lapique* : „mușchiul este un organ diferențiat, care produce prin contracție lucru mecanic".

FORMA EXTERIOARĂ

Corpul omenesc dispune de un număr de peste 430 de mușchi striați, care reprezintă 40—45% din greutatea întregului corp.

Marea majoritate a mușchilor au forme și dimensiuni diferite, ceea ce reprezintă, de la început, un indiciu al relațiilor dintre formele organelor contractile și funcțiile lor diverse. În ansamblu, mușchii se pot grupa, după forma lor, în : mușchi scurți, mușchi lungi, mușchi lați și mușchi inelari.

Mușchii scurți realizează împreună ansambluri musculare. Prototipul mușchilor scurți este reprezentat de mușchii șanțurilor vertebrale, care contribuie la menținerea coloanei în extensie. Datorită numărului și independenței elementelor, ei mențin coloana asigurîndu-i în același timp supletețea prin jocul contracțiilor lor.

Mușchii lungi sînt, după forma lor, de trei tipuri : mușchi fusiformi, mușchi cilindrici și mușchi micști (fig. 40).

Mușchi lungi fusiformi, de forma unor fuse, au ca prototip mușchii gîtului și ai membrelor. Produc mișcări de forță relativ mare și de amplitudine mare. Exemple : ischio-gambierii.

Mușchii lungi cilindrici au aproximativ aceeași lățime pe toată întinderea lor și se găsesc tot la membre. Produc mișcări de amplitudine mare, dar de forță mică și contribuie mai mult la menținerea direcției de mișcare. Exemple : croitorul, dreptul intern etc.

Mușchii lați sînt, după grosimea lor, de două tipuri : mușchi lați și subțiri și mușchi lați și de grosimi mai mari.

Mușchii lați și subțiri alcătuiesc centurile care închid marile cavități ale corpului. Prototipul lor este reprezentat de mușchii abdominali, care mențin greutatea viscerelor și a conținutului acestora. Sînt dispuși în planuri suprapuse și fasciculele lor sînt orientate în sensuri diverse.

Mușchii lați și de grosimi mai mari au ca prototip mușchii care acoperă cavitatea toracică și mobilizează membrele supe-

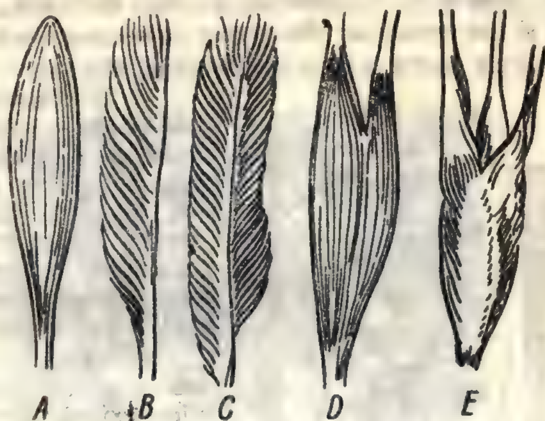


Fig. 40 — **Forma externă a mușchilor :**
A — mușchi fusiformi ; B — mușchi semipeniformi ; C — mușchi peniformi ; D — mușchi bicefali ; E — mușchi tricefali.

rioare. Sînt, în general, de formă triunghiulară, cu baza inserîndu-se larg pe coloana vertebrală, torace și bazin, iar cu vîrful, reprezentat de un tendon puternic, inserîndu-se pe un punct al membrului superior. Fasciculele lor nu au o direcție și deci nici o acțiune paralelă, dar îndreptîndu-se către un singur punct asigură prin convergența eforturilor lor parțiale o remarcabilă putere globală de acțiune și în special o mare amplitudine de mișcare. Exemple : trapezul, marele dorsal, marele pectoral etc.

Mușchii inelari au formă circulară și permit prin contracția lor deschiderea sau închiderea anumitor orificii. Exemple : orbicularul ochilor, orbicularul buzelor, mușchii sfincterieni etc. Tot un mușchi inelar, dar cu totul deosebit ca dimensiuni și importanță, poate fi considerat și mușchiul diafragm, care alcătuiește plafonul cavității abdominale și planșeul cavității toracice.

ELEMENTELE COMPONENTE ALE MUŞCHILOR STRIAŢI

Un muşchi striat este alcătuit din mai multe elemente şi anume : corpul muscular, tendonul, joncţiunea tendino-musculară, inserţia muşchiului, tecile sinoviale, bursele seroase anexate, vasele şi nervii muşchiului.

Corpul muscular. Reprezintă partea cărnoasă, activă a muşchiului şi i se recunosc, din punct de vedere morfo-funcţional, următoarele patru ordine de structuri (fig. 41) :

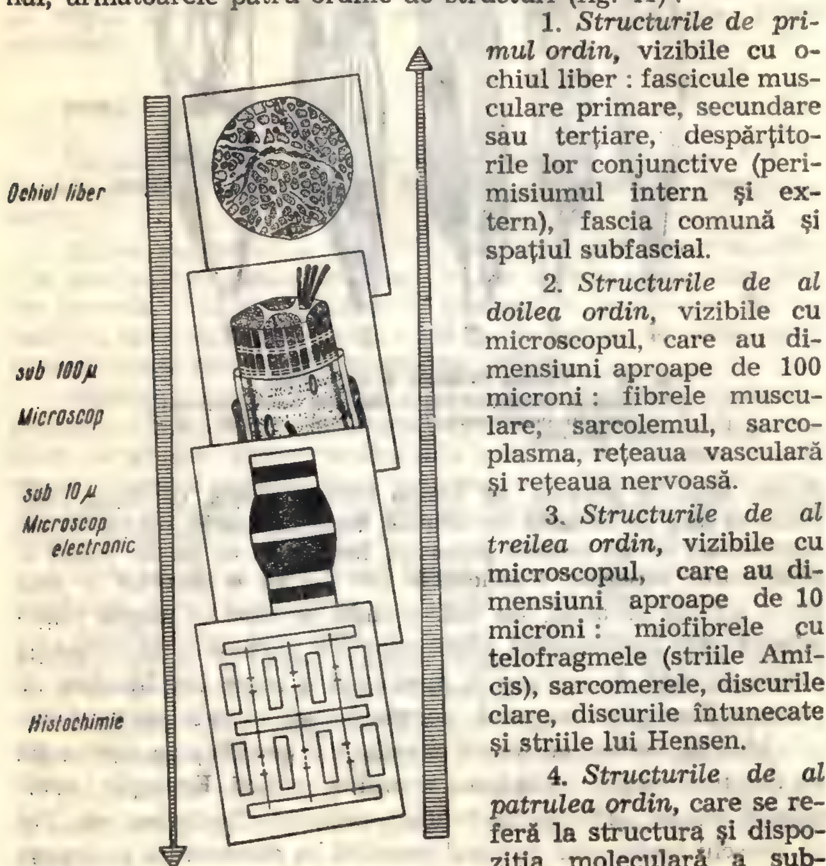


Fig. 41 — Ordinele de structuri ale corpului muscular.

1. *Structurile de primul ordin,* vizibile cu ochiul liber : fascicule musculare primare, secundare sau terţiare, despărţitorile lor conjunctive (perimisiumul intern şi extern), fascia comună şi spaţiul subfascial.

2. *Structurile de al doilea ordin,* vizibile cu microscopul, care au dimensiuni aproape de 100 microni : fibrele musculare, sarcolemul, sarcoplasma, reţeaua vasculară şi reţeaua nervoasă.

3. *Structurile de al treilea ordin,* vizibile cu microscopul, care au dimensiuni aproape de 10 microni : miofibrele cu telofragmele (striile Amicis), sarcomerele, discurile clare, discurile întunecate şi striile lui Hensen.

4. *Structurile de al patrulea ordin,* care se referă la structura şi dispoziţia moleculară a substanţelor organice, care alcătuiesc miofibrila : scle-

roproteina sarcolemului, actina și miozina (actomiozina) sarcoplasmei, merozinele, protomiozinele, substanțele azotate, lipidele, glucidele, corpii grași și apa.

Structurile de primul ordin. Toți corpii musculari ai unui segment sînt înveliți de o *fascie comună* (aponevroză). Fasciile sînt membrane conjunctive formate din fibre dispuse pe două sau mai multe planuri, în raport cu grosimea lor, și din celulele conjunctive fixe, cu corpul turtit, prevăzut cu prelungiri mem-

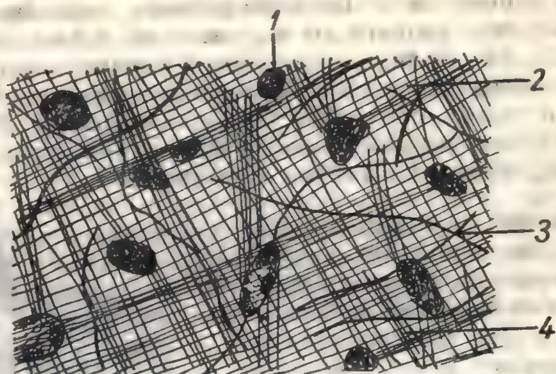


Fig. 42 — Aspectul histologic al fasciei : 1 — nucleii celulelor conjunctive ; 2 — fibre colagene ca o țesătură ; 3 — fibre elastice ; 4 — substanță fundamentală.

braniforme sau filiforme, cu numeroase creste de impresiune datorită presiunii fibrelor musculare asupra lor (fig. 42). În eforturile mari, fasciile se pot rupe și corpii musculari rămași neacoperiți herniază (herniile musculare).

Fiecare corp muscular este învelit la rîndul lui de o altă formațiune conjunctivă, de forma unui manșon, denumită *perimisium extern*, care împiedică în condiții normale de efort întinderea prea mare a mușchiului și deci ruperea lui.

Perimisiumul extern este bine izolat de fascia comună, de care o separă *spațiul subfascial*. Acest spațiu virtual este umplut cu țesut conjunctiv lax, care permite alunecarea perimisiumului extern pe fața interioară a fasciei comune în timpul contracțiilor musculare.

De pe fața interioară a perimisiumului extern pleacă în interiorul corpului muscular o serie de despărțituri conjunctive care sînt cu atît mai subțiri, cu cît învelesc și izolează fascicule mus-

culare mai subţiri şi care formează în totalitatea lor *perimisiumul intern* sau *endomizium*. Prin fibrele lor elastice atît perimisiumul extern, cît şi endomiziumul au calitatea de a se adapta şi de a reveni cu uşurinţă la poziţia iniţială a muşchiului, fără să împiedice forţa de contracţie şi expansiune activă a corpului muscular.

Despărţitoarele endomiziumului separă între ele *fasciculele musculare*. Dimensiunile fasciculelor musculare sînt diferite după volumul corpului muscular. După dimensiunile lor, fasciculele iau denumirea de fascicule primare, secundare sau terţiare. Fasciculele primare au o grosime de 0,5—1 mm şi sînt alcătuite din 10—30 fibre musculare. Fasciculele secundare rezultă din unirea mai multor fascicule primare, iar fasciculele terţiare din unirea mai multor fascicule secundare. Fasciculele terţiare se găsesc numai în muşchii foarte voluminoşi, cum sînt, de exemplu, tricepsul sural sau cvadricepsul.

Structurile de al doilea ordin. Indiferent de forma lui, corpul muscular apare în secţiune transversală că este format dintr-o serie de poligoane (fig. 43), formate din fibre musculare, care, datorită compresiunii reciproce din interi-



Fig. 43 — Secţiune transversală printr-un muşchi.

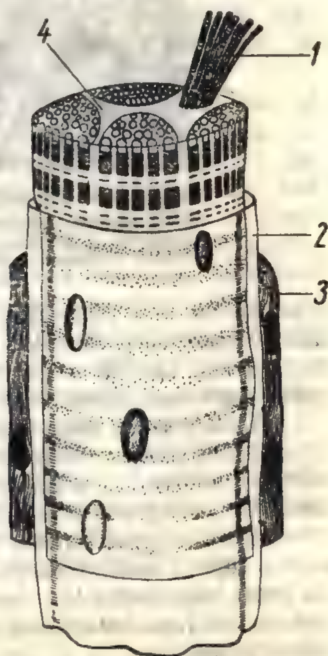


Fig. 44 — Fibră musculară : 1 — miofibrile izolate ; 2 — sarcolem ; 3 — endomizium ; 4 — sarcoplasmă.

orul muşchiului, capătă forme de prisme. Grosimea celor mai fine fibre este de 10 microni, şi a celor mai mari de 100 microni, iar lungimea lor de 5,3—12 cm. Între lungimea şi grosimea fibrelor nu există nici un raport. Fibrele foarte lungi pot fi subţiri, iar cele scurte pot avea grosimi apreciabile.

Fibra musculară este formată dintr-o membrană subţire şi elastică numită *sarcolem*, sub care se găseşte protoplasma sau *sarcoplasma* care conţine nuclei, condriomi şi incluzii, precum şi o protoplasmă diferenţiată, numită *inoplasmă* (fig. 44).

Unii specialişti au afirmat că numărul fibrelor musculare nu se mai modifică după naştere şi că mărirea lor în diametru, prin practicarea exerciţiilor fizice, s-ar datora diviziunii şi deci înmulţirii miofibrelor din care sînt formate *(Siegelbauer)*.

Structurile de al treilea ordin. Fibrele musculare sînt alcătuite din 400—2 000 *miofibrile*, nişte filamente subţiri de 1—3 microni grosime, cu o lungime egală cu a fibrei, care sînt dispuse paralel cu axa fibrei. Fiecare miofibrilă este întretăiată transversal şi la intervale regulate de o serie de membrane subţiri, numite *telofragme*, care împart miofibrila în mai multe segmente, denumite *sarcomere* sau *căsuţe musculare (Krause)*.

Sarcomerul prezintă o porţiune centrală, care apare ca un disc întunecat (discul 0), cuprins între *două discuri clare (Discuri I)*. Substanţa discului întunecat este anizotropă, deoarece este alcătuită din micelii albuminice, care au caracteristicile optice ale unor cristale birefrigente. Substanţa discului clar este izotropă. Aspectul striat al muşchiului se datoreşte acestei alternanţe a discurilor clare cu cele întunecate.

Fiecare telofragmă separă între ele două discuri clare, aparţinînd la două sarcomere deosebite. Înălţimea sarcomerelor este de aproximativ 2—2,5 microni, iar într-o miofibrilă lungă de 10 cm se găsesc aproximativ 50 000 sarcomere. Miofibrila nu este altceva decît o succesiune de sarcomere.

În manualele mai vechi de anatomie descrierea succesiunii discurilor este prezentată numai aparent diferit, dar ea respectă aceeaşi organizare. Se afirmă astfel că atît discurile întunecate, cît şi cele clare sînt separate în cîte două *semidiscuri* de o formaţie care se numeşte strie (fig. 45). În discul întunecat se găseşte *stria lui Hensen*, iar în discul clar — *stria lui Amici*, care nu este decît telofragma. Succesiunea elementelor poate fi redată astfel : un semidisc clar, stria *Amici*, un semidisc clar, un semidisc întunecat, stria *Hensen*, un semidisc întunecat, un semidisc

clar, stria *Amici* etc. Elementele cuprinse între două strii *Amici* (telofragma) formează *sarcomerul*.

Miofibrila prezintă un mare număr de nuclei, de la cîteva sute pentru fibrele mici, pînă la cîteva mii pentru fibrele lungi. Ea nu este, deci, o celulă, ci un sincițiu. Nucleii au o situație caracteristică, marginală, fiind situați imediat sub membrana de înveliș a fibrei, sub sarcolem. Ei sînt înconjurați de sarcoplasmă, care este lichidă sau semifluidă.

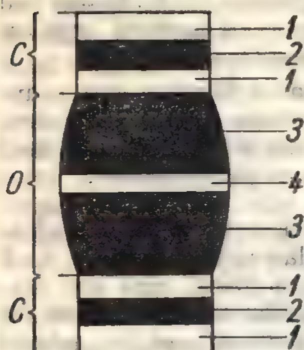


Fig. 45 — Structura schematică a miofibrilei : O — disc întunecat ; C — disc clar ; 1 — semidisc clar ; 2 — stria *Amici* ; 3 — semidisc întunecat ; 4 — stria *Hensen*.

Corpul muscular are o culoare roșie datorită hemoglobinei sanguine, dar fibrele musculare sînt unele roșii, altele albe. Fibrele albe conțin o cantitate mai mică de hemoglobină și de sarcoplasmă și o cantitate mai mare de miofibrile. Ele au posibilitatea de a se contracta mai rapid. Fibrele roșii se contractă mai lent.

Structurile de al patrulea ordin. Din punct de vedere chimic, țesutul muscular conține 70—75% *apă*, iar restul substanțe chimice diverse. Mușchii reprezintă astfel marele rezervor de apă al organismului, jumătate din apa organică fiind conținută în ei. Sarcolemul are o structură chimică apropiată de a elastinei, adică este *o scleroproteină (proteină fibroasă)*. Plasma congulabilă a fibrelor este formată dintr-o proteină numită *actomiozină*. Actomiozina, extrasă pentru prima dată din mușchi de *Kuhn* în 1868, este o substanță intermediară între paraglobulină și fibrină. Ea are calități enzimatice, fiind capabilă să scindeze *acidul adenozintrifosforic*. Acest acid acționează în sensul modificărilor proprietăților mecanice ale fibrelor de miozină, făcîndu-le mai extensibile. Cînd acidul adenozintrifosforic dispare, cum se întîmplă imediat după moarte, fibrele își pierd elasticitatea și se instalează așa-numita rigiditate cadaverică.

Actomiozina este alcătuită din două proteine, *actina* și *miozina*, care alcătuiesc în interiorul sarcomerului o serie de filamente dispuse paralel. Discurile întunecate, anizotrope, conțin în special filamente de miozină, iar discurile clare, izotrope, conțin în special filamente de actină. Filamentele de actină ale discului clar pătrund între filamentele de miozină ale discului

întunecat și în interiorul acestuia se leagă prin intermediul unor filamente subțiri, numite filamentele S (fig. 46).

În timpul contracției musculare filamentele S se scurtează, iar filamentele de actină alunecă pe cele de miozină, înfundîndu-se între ele. În timpul decontracției musculare, filamentele S se alungesc, filamentele de actină alunecă în sens contrar pe

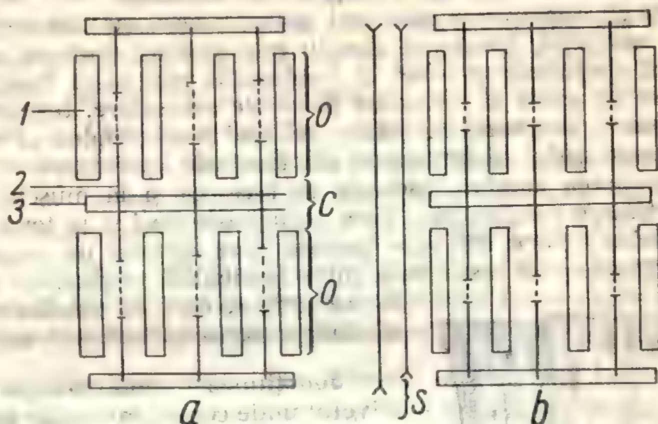


Fig. 46 — Mecanismul contracției musculare: a — fibră musculară relaxată; b — fibră musculară în contracție: 1 — filament de miozină; 2 — filament de actină; 3 — telofragmă; O — disc întunecat; C — disc clar; S — scurtarea.

cele de miozină și revin astfel la poziția lor de repaus. Scurtarea miofibrilelor în timpul contracției rezultă din alunecarea și întrepătrunderea filamentelor de actină pe filamentele de miozină.

Molecula de miozină este formată la rîndul ei din două molecule de merozină, dispuse într-o succesiune lineară; iar o moleculă de merozină este alcătuită din 90—100 particule de *protomiozină*. Contracția musculară ar consta dintr-o regrupare a protomiozinelor, înăuntrul moleculei de miozină.

În afară de proteine, în mușchi se mai găsesc și *alte substanțe azotate* (creatinina, creatina, fosgenadenina etc.), *lipide* (trigliceride, fosfatide etc.), *glucide* (dintre care cel mai important este glicogenul muscular, forma de rezervă a glucozei) și *corpi grași*.

Tendonul. Este un organ de culoare alb-sidefie, foarte rezistent și inextensibil, de formă cilindrică sau asemănătoare unui cordon turtit. Este constituit din *țesut tendinos*, în care

predomină *fasciculele conjunctive*, dispuse rectiliniu, într-o singură direcţie. Fasciculele conjunctive sînt formate din *fibre tendinoase*, care la rîndul lor nu sînt altceva decît grupul de *fibre colagene*, legate între ele printr-un ciment special. Între fibre se insinuează *celulele tendinoase* (tenocitele), cu nucleul de obicei excentric, cu prelungiri lamelare, suprapuse în serii, formînd lanţuri tendinoase în spaţiile interfibrilare.

Cu cît tendoanele sînt mai voluminoase, cu atît structura lor se complică. Tendonul simplu este alcătuit dintr-un singur fascicul conjunctiv primar. În tendoanele mai mari, fasciculele primare se unesc şi formează *fascicule secundare, terţiare* sau *cuaternare*. Tendonul lui Ahile, cel mai mare tendon al corpului, ajunge astfel să fie format din fascicule cuaternare.

Gruparea acestor fascicule se face, ca şi la muşchi, prin despărţitoare conjunctive. Vom recunoaşte deci şi la tendon un *peritendon extern*, din care pornesc spre interior un număr de despărţituri ce se insinuează între fasciculele tendinoase de diferite ordine, care în totalitatea lor alcătuiesc *peritendonul intern*.



Fig. 47 — Joncţiunea tendino-musculară.

Joncţiunea tendino-musculară. Nivelul unde corpul muscular se continuă cu tendonul reprezintă o zonă de mare importanţă pentru activitatea musculară şi de aceea o vom considera ca un element separat al muşchiului-organ (fig. 47).

Direcţia sub care fasciculele musculare se continuă cu cele tendinoase diferă de la muşchi la muşchi. La muşchii laţi ai abdomenului, de exemplu, direcţia fasciculelor musculare este aceeaşi cu direcţia fasciculelor tendinoase. În majoritatea cazurilor însă fasciculele musculare se inseră oblic pe direcţia fasciculelor tendinoase, fie de ambele laturi ale tendonului *(muşchi peniformi)* ca la brahialul anterior, dreptul femural etc. (fig. 40 C), fie numai pe o latură *(muşchi semipeniformi)* ca la gambierul anterior (fig. 40, B).

Corpul muscular şi tendonul sînt elemente structurale separate, unite numai funcţional (*Goss* — 1944).

Fibrele musculare nu se continuă cu fibrele tendinoase. Ceea ce se continuă din corpul muscular cu tendonul sînt numai *fibrilele conjunctive*, provenite din endomisium, deci tendonul continuă doar aparatul despărţitor conjunctiv interfibrilar al corpului muscular. La nivelul unde fibrele musculare se termină, ele aderă însă printr-un fel de ciment, de natură proteică, la ţesutul conjunctiv al endomisiumului şi prin intermediul acestuia, în timpul contracţiei, acţionează asupra tendonului.

Tendonul fiind foarte rezistent, iar fibrele musculare foarte elastice, în timpul contracţiilor musculare puternice joncţiunea tendino-musculară va fi deosebit de solicitată, ea reprezentînd punctul cel mai slab al întregului muşchi-organ. De aceea, la acest nivel se întîlnesc în timpul exerciţiilor fizice excesive cele mai dese întinderi şi rupturi musculare *(Clacajele).*

Inserţiile musculare. Punctele de inserţie ale tendoanelor reprezintă alte elemente importante ale muşchiului-organ. Tendoanele se pot insera pe segmentul osos fie direct pe compacta osului, fie prin intermediul periostului. În primul caz fibrele tendinoase se continuă direct cu fibrele colagene ale osului compact, cum se întîmplă la nivelul inserţiei cvadricepsului pe rotulă, a tendonului lui Ahile pe calcaneu şi a inserţiilor de pe creasta aspră a femurului. Această structură de continuare a tendonului cu osul reprezintă un punct slab şi eforturile excesive pot produce, în cazul în care nu cedează tendonul, *smulgeri osoase.*

În majoritatea cazurilor, însă, tendoanele se inseră pe os prin intermediul periostului, fasciculele tendinoase fuzionînd intim cu fibrele colagene ale periostului şi prin intermediul acestuia, deci printr-o suprafaţă mult mărită, aderă la os. În aceste cazuri, în timpul eforturilor excesive, nu se vor mai produce smulgeri ale unei porţiuni limitate de os, dar se pot produce decolări periostale.

Mai trebuie remarcat faptul că inserţiile musculare nu au numai un rol mecanic, ci şi unul trofic. O bună parte a ele-

mentelor nutritive ale osului sosesc la acesta din urmă prin intermediul tendoanelor. S-a putut, astfel, urmări cum substanțele minerale, și în special calciul solubil, se scurg prin tendoane la os și de aici s-a conchis că se poate vorbi de o adevărată simbioză trofică os—mușchi *(Délangenière* și *Crétin).*

Tecile sinoviale. Pentru a favoriza alunecarea în canalele osteo-fibroase prin care trec, unele tendoane se învelesc în niște teci sinoviale, care au forma unor saci fără deschidere.

O teacă sinovială este formată dintr-o *foiță viscerală,* care acoperă tendonul, și una *parietală,* care tapetează canalul osteo-fibros, ambele foițe continuîndu-se și formînd, la nivelul unirii lor, funduri de sac (fig. 48). Între cele două foițe se formează astfel o cavitate virtuală, asemănătoare celei a seroaselor, în care se găsește o cantitate mică de lichid analog cu sinovia.

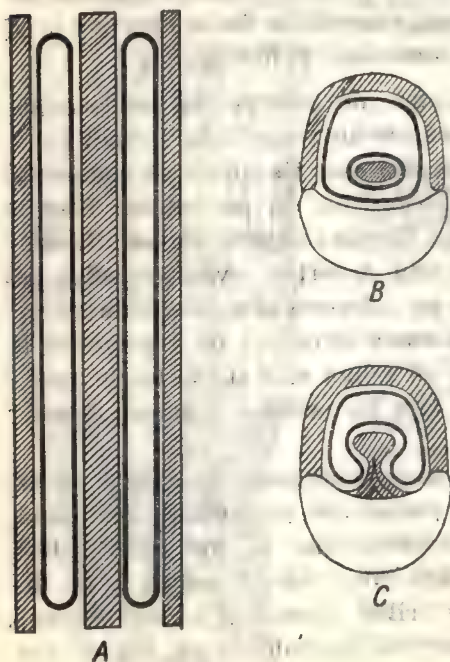


Fig. 48 — Tecile sinoviale :
A — de profil ; B — secțiune transversală ; C — secțiune transversală printr-un tendon cu tract conjunctiv.

Unele sinoviale tendinoase intră în comunicație cu sinoviala articulației vecine. Astfel, sinoviala mușchiului popliteu, care la început este independentă, ajunge să comunice cu sinoviala genunchiului. Sinovialele tendinoase au aceeași structură histologică cu a celor articulare.

Biodinamica tendoanelor. Alunecarea tendoanelor, indiferent dacă prezintă teci sinoviale sau nu, reprezintă un minunat exemplu de perfecțiune biodinamică. Mușchiul motor transmite forța sa de acțiune, prin intermediul tendonului, cu maximum de eficacitate, frecarea și rezistența fiind așa de

mici, încît pierderea forței de-a lungul tendonului este minimă. Se poate astfel afirma că tracțiunea unui mușchi sănătos este 100% transmisă de la extremitatea sa musculară la punctul său de inserție osoasă.

În biodinamica tendoanelor, în afara tecilor sinoviale, mai intervin două elemente anatomice: *paratendonul* și *mezotendonul*. Pentru a înțelege mai bine rostul lor, trebuie să le cunoaștem dispoziția și structura (fig. 49). Paratendonul este for-

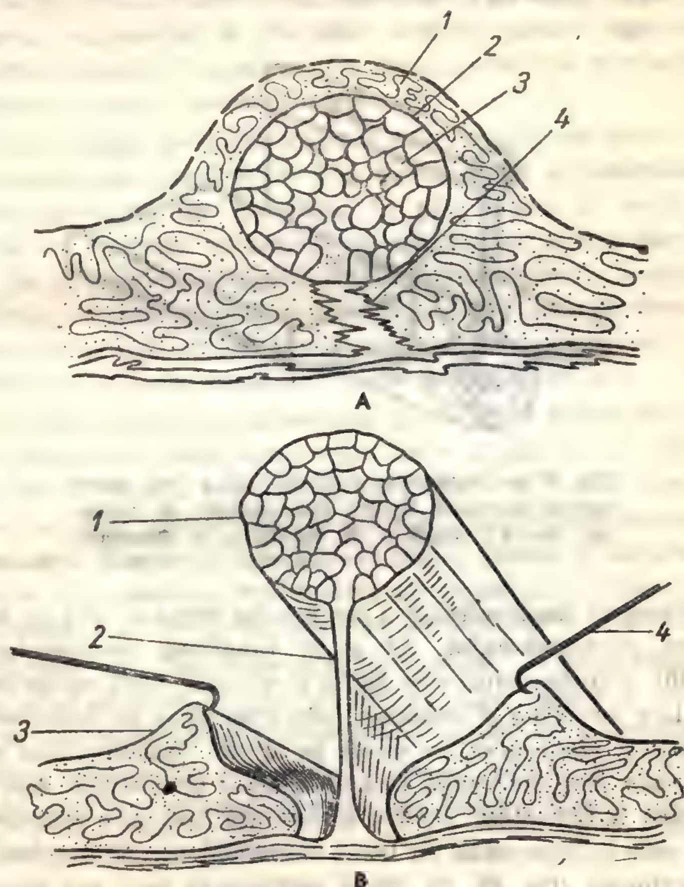


Fig. 49 **— Elementele componente ale tendonului pe o secțiune transversală:**

A — în poziție normală; B — tendonul ridicat; întinde mezotendonul. În poziția A: 1 — paratendon; 2 — epitendon; 3 — endotendon; 4 — mezotendon.

mat din țesutul areolar grăsos peritendinos, care se îngroașă în jurul tendonului fără teacă sinovială sau în porțiunile tendonului cu teacă sinovială, în care aceasta lipsește. Mezotendonul leagă tendonul de patul pe care alunecă și este format dintr-o serie de straturi de țesut conjunctiv care conțin sisteme vasculare ramificate în arcade. Mezotendonul reprezintă astfel calea normală de irigare a tendonului.

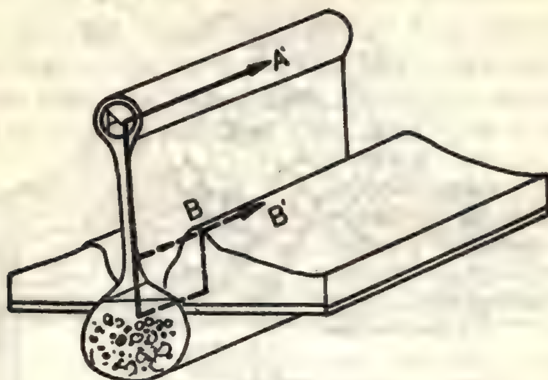


Fig. 50 — **Deplasarea pantografică a tecii paratendon-sinovială B—B') concomitent cu tendonul (A—A') (după J. W. Smith și H. Conway).**

Excursia longitudinală a tendonului depinde atît de structurarea paratendonului, cît și de lungimea mezotendonului (fig. 50). Paratendonul este astfel structurat încît ramurile lui vasculare (arteriale și venoase), prin orientarea lor transversală, să permită alunecarea lor unele pe altele. Vascularizația paratendonului este autonomă față de aceea a tendonului, care este orientată longitudinal. Pentru a constata lungimea mezotendonului este indispensabil ca teaca sinovială sau paratendonul să fie secționate (fig. 49, B). După secționarea tecii sau paratendonului, tendonul poate fi tras în afară și mezotendonul pus sub tensiune. Lungimea sa arată de ce tendonul poate fi mobilizat cu ușurință în sensul lui longitudinal.

Bursele seroase sau mucoase. De la început trebuie specificat că denumirea de bursă seroasă este greșită, deoarece aceste formații, întocmai sinovialei articulare și tecilor sinoviale ale tendoanelor, au altă origine embriologică și altă structură histologică decît seroasele. Au fost denumite seroase numai pentru că au rolul de a favoriza mișcările.

Dezvoltarea acestor formațiuni, care apar în imediata vecinătate a tendoanelor și mușchilor, este în strînsă legătură cu mișcările acestora. Bursele se pot forma prin două mecanisme : *prin frecare* și *prin contact intermitent*.

Un exemplu de bursă formată prin frecare este *bursa subacromială*, care apare între fața inferioară a acromionului și tendoanele rotatorilor umărului, în plin spațiu de țesut conjunctiv lax, datorită frecării dintre acestea, un tendon care alunecă pe un plan dur atrage o subțiere și o dispariție progresivă a fibrelor atmosferei conjunctive în care se produce frecarea. Areolele țesutului conjunctiv se măresc și se contopesc într-o cavitate virtual mai mare, formîndu-se astfel bursa.

Un exemplu de bursă formată prin contact intermitent este *bursa retrocalcaneană*, care apare între tendonul lui Ahile și calcaneu. În poziția ortostatică, tendonul este aplicat direct pe os, iar în mers, cînd piciorul se extinde, tendonul se depărtează de calcaneu. Contactul intermitent dintre tendon și os atrage o subțiere a trabeculelor conjunctive ale țesutului conjunctiv lax, o dispariție a lor și unirea areolelor conjunctive într-o cavitate.

Bursele sînt deci niște cavități virtuale, cu puțin lichid similar celui sinovial. În interior au un aspect neted și lucios și o structură asemănătoare sinovialelor articulare și tendinoase.

Prin solicitările exagerate în timpul eforturilor excesive, bursele sînt iritate, conținutul lor de lichid crește și astfel se produce *bursita* sau *higroza*.

Vascularizația mușchilor. Corpul muscular prezintă o bogată rețea vasculară, fiecare mușchi primind mai multe arteriole : unele terminale, iar altele care merg de-a lungul despăr-

ţitoarelor conjunctive, divizîndu-se, anastomozîndu-se şi formînd reţele capilare în perimisiumul fibrelor. Astfel se ajunge ca fiecare fibră musculară să fie înconjurată de o reţea capilară, cu ochiuri ovale. De la această reţea pleacă venule, separate la început de arteriole, care ajung în despărţitoarele conjunctive de ordinul al doilea, încep să se mai mărească şi să urmeze traiectul arterelor.

Tendonul dispune de o vascularizaţie mai slabă. În peritendonul extern se află o reţea săracă, ce alcătuieşte şi în interiorul tendonului o reţea neînsemnată.

Cînd muşchiul este în repaus sînt permeabile doar un număr limitat de capilare, pe cînd în efort numărul lor se măreşte de zece ori. În felul acesta ţesutul muscular ajunge să beneficieze de cantităţile necesare de sînge, care sînt de 20—25 de ori mai mari în activitate decît cele suficiente în repaus.

Inervaţia muşchilor. Odată cu vasele pătrund în muşchi şi nervii. Locul de pătrundere al vaselor şi nervilor în muşchi se numeşte *zona vasculo-nervoasă Frezé* sau *hil muscular Ogniev*. Fiecare muşchi prezintă porţiuni bine precizate în care se pot găsi aceste zone de pătrundere a vaselor şi nervilor.

Nervii prezintă atît fibre motorii (eferente), cît şi fibre senzitive (aferente). Fibrele motorii se termină cu *plăcile motorii* (asupra cărora vom reveni mai pe larg la mecanismele generale ale locomoţiei) şi prin ele se transmit impulsurile motorii de la centrii nervoşi la muşchi.

Fibrele senzitive deservesc sensibilitatea proprioceptivă musculară şi prin ele se transmit impresiile senzitive de la receptorii musculari spre centrii nervoşi.

Muşchii prezintă dealtfel, un număr mare de proprioceptori. *I. M. Secenov*, în 1886, vorbea de existenţa unui *simţ muscular obscur*, care, împreună cu senzaţiile cutanate şi optice, constituie îndrumătorul principal al conştiinţei în procesul de coordonare a mişcării. Cei mai importanţi receptori musculari sînt *fusurile neuro-musculare*, cu un capăt în tendon şi unul în corpul muscular. Orice modificare de lungime a muşchiului este

înregistrată şi transmisă. Fusurile neuro-musculare sînt formate din 2 pînă la 10 fibre musculare subţiri, specializate, care sînt fixate prin capul lor în endomisiumul fibrelor obişnuite. Fusul neuro-muscular nu este un simplu receptor, ci şi un organ contractil. Prin contracţia capetelor sale, el pune sub tensiune porţiunea centrală receptoare şi reprezintă astfel unul din elementele pe care se bazează funcţionarea circuitelor gama, de care ne vom ocupa într-un capitol următor.

Tendoanele dispun şi ele de o bogată reţea nervoasă senzitivă, alcătuită din corpusculii *Timofeev*, *Vater-Paccini*, *Golgi-Manzoni* şi *Krause*.

PROPRIETĂŢILE FIZICE ALE MUŞCHIULUI

Muşchiul striat dispune de două proprietăţi principale: contractibilitatea şi elasticitatea.

Contractibilitatea rezultă din mecanismele fiziologice, biochimice şi biofizice prin care energia chimică potenţială este transformată în energie mecanică. Studiul desfăşurat al contracţiei musculare este de competenţa fiziologiei.

Muşchiul-organ, prin corpul său muscular, este şi un corp elastic. Dacă asupra lui intervin forţe de presiune, torsiune sau tracţiune, după înlăturarea acestora el tinde să revină la dimensiunile iniţiale. Elasticitatea musculară se comportă ca un amortizor plasat între forţa contractilă şi forţa de inerţie a segmentului mobilizat *(Aubert)*.

Cea mai importantă calitate fizică a muşchiului, care rezultă din elasticitatea lui, este aceea că revine la lungimea iniţială după alungirea lui. Fibrele musculare, considerate izolate, se supun întru totul legii lui *Hook* şi gradul lor de alungire este proporţional cu forţa de tracţiune. Considerat însă în totalitate, corpul muscular datorită sistemului de despărţituri conjunctive de care dispune, nu respectă integral această lege şi cu cît forţa care produce alungirea creşte, cu atît ritmul de alungire scade.

Între forța de contracție a mușchiului și rezistența lui de alungire există o strînsă corelație. S-a calculat astfel că forța de contracție a mușchiului este de aproximativ 5—8 kg pentru un cm^2 din suprafața lui, pe secțiune transversală, iar rezistența la alungire variază între 2,6 kg/cm^2, cînd mușchiul este relaxat, și 12,5 kg/cm^2, cînd mușchiul este contractat. Deci, între forța maximă de contracție de 8 kg/cm^2 și rezistența maximă la alungire de 12,5 kg/cm^2 există o margine de siguranță. Aceasta scade la indivizii antrenați, la care forța musculară crește.

MECANISMELE GENERALE ALE LOCOMOŢIEI

Mişcarea locomotorie trebuie înţeleasă ca rezultînd din interacţiunea *forţelor interne* ale corpului omenesc (impulsuri nervoase, contracţii musculare, pîrghii osteo-articulare) cu *forţele externe* ale mediului (gravitaţie, presiune atmosferică, inerţie, rezistenţe diverse etc.).

Denumim *forţă* orice cauză care modifică sau tinde să modifice starea de repaus sau de mişcare a unui corp. Ramura mecanicii care se ocupă cu studiul forţelor se numeşte *dinamică*. Ramura biologiei care se ocupă cu studiul forţelor declanşate sau care acţionează asupra corpurilor animale se numeşte *biodinamică*.

Mişcarea apare ca o modificare a poziţiei corpurilor sau a părţilor acestora. Diversele forme şi aspecte ale mişcărilor în timp şi spaţiu, indiferent de forţele care le provoacă, sînt studiate de o altă ramură a mecanicii — *cinematica*. Ramura biologiei care se ocupă cu studiul formelor şi aspectelor mişcărilor locomotorii poartă denumirea de *biocinematică*.

În mecanică studiul unei mişcări presupune stabilirea convenţională a unor elemente de bază fără de care studiul nu este posibil. Aceste elemente sînt : reperul faţă de care se realizează mişcarea, direcţia de mişcare şi viteza cu care se execută mişcarea.

Reperul. Orice mişcare observată în spaţiu este relativă, în sensul că ea se consideră convenţional ca atare faţă de un anumit punct considerat în mod convenţional fix. Un săritor cu prăjina, de exemplu, se deplasează în timpul elanului, faţă de pistă, în timpul pendulării faţă de prăjină, în timpul săriturii propriu-zise faţă de ştachetă şi în timpul căderii faţă de groapa cu nisip. Pe parcursul acestei mişcări complexe, în plus, fiecare segment al corpului se deplasează într-un anumit fel, faţă de alt segment al corpului.

Punctele considerate în mod convențional fixe și față de care se realizează mișcarea iau numele de *repere* și fără raportarea la ele mișcarea nu ar putea fi studiată.

Direcția de mișcare. Orice mișcare se realizează pe o anumită traiectorie în spațiu, deci față de trei dimensiuni. *Descartes* a propus în acest sens, încă din 1637, un sistem de coordonate rectangulare, în care se consideră că direcția mișcării se stabilește față de originea celor trei coordonate : pe orizontală — înainte și înapoi ; pe verticală — în sus și în jos și lateral — la dreapta și la stînga.

Direcția de mișcare a unui punct izolat poate fi *rectilinie*, cînd punctul se deplasează pe o traiectorie dreaptă sau *curbilinie*, cînd punctul se deplasează pe o traiectorie curbă.

Mișcările corpului omenesc sau ale segmentelor lui nu sînt ale unor puncte izolate, ci ale unor corpuri materiale cu o anumită formă geometrică, alcătuite dintr-un număr infinit de puncte. Aceasta face ca mișcările acestor corpuri să fie de *translație* sau de *rotație*. Cînd toate punctele se deplasează pe traiectorii paralele, mișcarea este de translație (fie ea rectilinie sau curbilinie). Cînd punctele corpului se mișcă pe o circumferință în jurul unei axe, mișcarea este de *rotație*.

În general, mișcările corpului omenesc sau ale segmentelor lui includ în ele fie mișcări de translație față de sol (ca la atacul cu floreta), fie mișcări de rotație ale întregului corp sau ale segmentelor lui în jurul diferitelor axe ale articulațiilor respective (ca la aruncarea cu discul).

Viteza și accelerația. Reperul față de care se execută mișcarea și direcția de mișcare se referă la spațiul tridimensional în cadrul căruia se realizează mișcarea respectivă. Mișcarea se execută și cu viteze deosebite, ceea ce impune ca studiul ei să se refere nu numai la spațiul, ci și la timpul în care se realizează. Spațiul și timpul alcătuiesc o unitate dialectică, ele fiind interdependente.

Noțiunea de *viteză (v)* a fost introdusă în cinematică de către *Galileu*, încă din anul 1638. Tot Galileu a introdus și noțiunea de *accelerație* ca un indice al modificării vitezei în timp. Spațiul, viteza și accelerația reprezintă datele de bază care permit studiul mișcărilor și de aceea ele sînt considerate în cinematică drept vectori. Acești vectori au o anumită valoare cifrică și o anumită direcție.

După viteza ei, mişcarea poate fi *uniformă* sau *variată*. În mişcarea uniformă, punctul care se mişcă parcurge spaţii egale în perioade de timp egale. În mişcarea variată, raportul dintre timp şi spaţiul parcurs nu este constant.

Acceleraţia (g), care reprezintă modificarea vitezei în unitatea de timp, poate fi *uniform variată* sau *neuniformă*. Cînd acceleraţia păstrează valoarea sa (uniform încetinită sau uniform accelerată) mişcarea este uniform variată. Căderea unui corp în vid reprezintă un exemplu clasic de mişcare uniform variată. Cînd acceleraţia îşi modifică valorile, mişcarea este neuniformă. Majoritatea exerciţiilor fizice sînt mişcări neuniforme din acest punct de vedere.

Acceleraţia (g) îndreptată în sensul mişcării se numeşte *acceleraţie pozitivă* (g-pozitivă) şi măreşte viteza mişcării (ca în săritura cu paraşuta). Cea îndreptată în sens opus mişcării se numeşte *acceleraţie negativă* (g-negativă) şi micşorează viteza mişcării (ca în săriturile în sus la înălţime sau cu prăjina).

Mecanismele generale ale locomoţiei umane nu pot fi explicate exclusiv prin aplicarea legilor mecanice. Aceste mecanisme sînt mult mai complexe şi pentru înţelegerea lor devin obligatorii scurte incursiuni în unele noţiuni de bază ale fiziologiei şi biochimiei umane.

FORŢELE INTERNE

Corpul omenesc, ca orice organism viu, este un transportor şi un transformator de energie, sursa energetică a organismelor vii fiind asigurată de intervenţia enzimelor, de desfăşurarea continuă a proceselor metabolice ale glucidelor, lipidelor şi proteinelor şi de schimburile continue de sarcini electrice dintre suprafaţa corpului şi mediu. Odată produsă energia este utilizată sub formă termică, electrică, fizico-chimică şi mecanică. Mişcarea sub forma exerciţiului fizic utilizează şi ea aceste forme de energie, care se manifestă ca *forţe interne*.

Mişcările care realizează locomoţia corpului omenesc sînt forme superioare ale mişcării, iar legile de manifestare a formelor inferioare de mişcare (mecanică, electrică, chimică etc.) nu se pot aplica integral.

Succesiunea forţelor interne care intervin în realizarea mişcării este următoarea : impulsul nervos, contracţia musculară, acţiunea pîrghiei osoase şi mobilitatea articulară.

Prima forţă internă care intervine în realizarea mişcării o constituie impulsurile nervoase, cărora trebuie să li se recunoască mai întîi traiectele sau arcurile organice pe care se scurg şi apoi să se descrie natura lor intimă.

Segmentul neural. În ultimă instanţă, mişcarea sau deprinderea motorie rezultă din înlănţuirea unor acte reflexe condi-

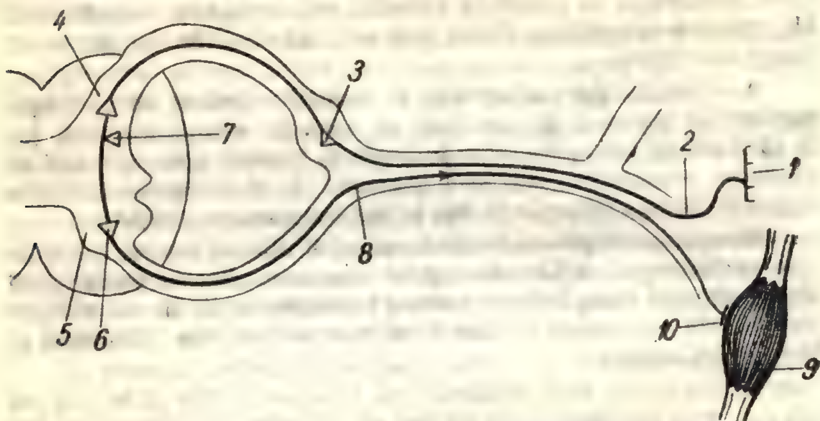


Fig. 51 — Schema unei mişcări reflexe :
1 — receptor ; 2 — filet senzitiv ; 3 — ganglion spinal ; 4 — corn posterior cu neuron senzitiv ; 5 — con anterior ; 6 — motoneuron (neuron alfa) ; 7 — neuron de asociaţie ; 8 — filet motor ; 9 — corp muscular efector ; 10 — placă motorie.

ţionate ; este, prin urmare, un act reflex catenar perfecţionat în care sfîrşitul unui reflex constituie stimulentul reflexului următor.

Mecanismele care stau la baza mişcărilor sînt deci de natură neuro-musculară, sînt acte reflexe. Arcul cel mai elementar prin care se realizează mişcarea este format din : organele de simţ (analizorii), căile de transmitere ale sensibilităţii, centrii nervoşi, căile motorii şi placa motorie musculară (fig. 51).

Organele de simţ sau analizorii. Condiţiile mediului extern şi ale celui intern fiind schimbătoare, informaţiile privind aceste schimbări trebuie transmise continuu sistemului nervos central. Acest deziderat funcţional este realizat de organele de simţ (analizorii).

Analizorul reprezintă un sistem funcţional unitar, constituit dintr-un segment periferic, *receptorul*, un segment aferent, *de conducere*, şi un segment central, *scoarţa cerebrală*. Denumirea de analizor, dată de *I. P. Pavlov*, provine din faptul că organele de simţ au posibilitatea de a analiza condiţiile mediului extern şi intern.

După cum receptorii deservesc sensibilitatea externă sau internă, ei primesc numele de *exteroceptori* sau *interoceptori*. Interoceptorii se pot împărţi şi ei în *visceroceptori*, care semnalează impresiile provenite de la nivelul viscerelor şi în *proprioceptori*, care semnalează impresiile provenite de la organele aparatului locomotor *(Sherington)*.

Exteroceptorii se împart în *receptori de contact*, cum sînt receptorii tactili sau gustativi, şi în *receptori de distanţă* (telereceptori), cum sînt ochii, urechea şi organul mirosului. Receptorii de distanţă oferă organismului posibilitatea de a reacţiona înainte de a veni în contact direct cu agenţii externi.

Exteroceptorii înregistrează cinci categorii de impresii : tactile, olfactive, gustative, ale vibraţiilor luminoase şi ale undelor sonore. Impresiile tactile sînt recepţionate de piele. În piele se găsesc receptori sub forma unor arborizaţii dendritice, libere sau corpusculare, care provin din neuronii senzitivi unipolari ai ganglionilor rahidieni. Impresiile olfactive sînt culese de receptorii dispuşi printre celulele epiteliale ale mucoasei olfactive. Impresiile gustative sînt recepţionate de receptorii din jurul celulelor senzoriale, localizate în mugurii gustativi. Impresiile vibraţiilor luminoase sînt culese de organul fotoreceptor, retina. Impresiile undelor sonore sînt percepute de organul auditiv.

Dintre toate aceste categorii de impresii, ne vom referi în special la transmiterea în continuare a impresiilor tactile de la nivelul trunchiului şi membrelor.

După ce sînt culese la periferie, excitaţiile provenite din domeniul sensibilităţii exteroceptive trec prin următoarele formaţii neuronale :

a) receptorul senzitiv respectiv ;

b) cilindraxul primului neuron senzitiv din ganglionul rahidian (protoneuronul senzitiv) ;

c) dendritele primului neuron senzitiv care se comportă diferit :

— cele scurte şi mijlocii ajung la cornul posterior al măduvei, unde realizează sinapsa cu al doilea neuron senzitiv ;

— cele lungi se dispun în cordoanele lui *Goll* şi *Burdach* din coarnele posterioare ale măduvei şi ajung pînă în bulb, unde

la nivelul nucleilor *Goll* și *Burdach* fac sinapsa cu al doilea neuron senzitiv ;

d) axonii neuronilor senzitivi de ordinul al doilea se încrucișează și constituie *panglica REIL* mediană ;

e) totalitatea fibrelor sensibilității generale urcă pe partea ventrală a *nucleului talamic extern*, unde se găsește al treilea neuron senzitiv, la nivelul căruia se realizează o nouă sinapsă ;

f) de la nucleul talamic, prin dendritele celui de al treilea neuron senzitiv, excitațiile senzitive ajung la nivelul *scoarței parietale ascendente*, unde se elaborează senzațiile.

Proprioceptorii se găsesc la nivelul tuturor organelor aparatului locomotor, reprezintă elementele materiale ale *sistemului sensibilității proprioceptive* și pot fi încadrați în rîndul *mecanoreceptorilor*, la fel ca presoreceptorii parenchimatoși ai organelor interne sau cei vasculari, ori ca receptorii tactili *(V. N. Cernigovschi)*.

Receptorii oaselor, articulațiilor și mușchilor au fost descriși odată cu inervația organelor respective. Ei sînt deosebit de numeroși și au funcții polivalente, înregistrînd modificările cele mai variate : termice, mecanice, chimice, osmotice etc. Tracțiunile, presiunile, forfecările etc. sînt înregistrate de mecanoreceptori ; modificările osmotice de osmoreceptori ; iar cele chimice de chemoreceptori. În plus, receptorii au un rol important kinestezic, și anume : prin presiunile exercitate asupra corpusculilor pacciniformi și tracțiunile exercitate asupra organelor lui *Ruffini* și asupra corpusculilor lui *Golgi* se transmit impulsuri care, controlate de scoarță, dau noțiuni asupra atitudinii, sensului și amplitudinii deplasării segmentelor. Pe lîngă ochi și canalele semicirculare, proprioceptorii aduc o indispensabilă contribuție în orientare, în modificările de poziție și de tonus muscular, fiind indispensabili menținerii echilibrului și realizării corecte a mișcărilor.

Calea urmată de excitațiile proprioceptive nu este bine cunoscută. Fibrele care transmit sensibilitatea proprioceptivă sînt *fibre aferente mielnice*. În unele teritorii ale măduvei spinării, celulele proprioceptive ocupă *coloana veziculoasă a lui Clarke*. Coloana proprioceptivă se întîlnește apoi în bulb la nivelul *nucleilor Burdach*, după care urcă spre *paleocerebel*.

Funcțiile măduvei. Măduva are două funcții importante : *funcția de transmisie* și *funcția reflexă*.

Prin funcția de transmisie, măduva folosește la transmiterea influxurilor nervoase senzitive de la periferie către encefal și a influxurilor nervoase motorii de la encefal la mușchii motori.

Prin funcţia reflexă, măduva joacă un rol important în realizarea anumitor mişcări. *Reflexul* sau *acţiunea reflexă* este o impresie transformată în mişcare *(Rouget)*, fără intervenţia voinţei şi a conştiinţei *(Gley)*. Baza materială a actului reflex este *arcul reflex* (fig. 51), alcătuit din cel puţin doi neuroni, unul senzitiv şi unul motor. De obicei, între neuronul senzitiv şi cel motor se interpun şi neuroni de asociaţie (intercalari). Impresia periferică înregistrată de receptori parcurge prelungirile periferice ale neuronului senzitiv aflat la nivelul ganglionului spinal, apoi trece prin prelungirea centrală a neuronului senzitiv, care intră în substanţa cenuşie a coarnelor posterioare, unde se articulează cu un neuron de asociaţie şi, prin intermediul acestuia, cu neuronul motor din coarnele anterioare ale măduvei. Prin axonul neuronului motor se transmite comanda motorie la muşchiul respectiv, care intră în contracţie.

Rolul cerebelului (creierul mic). Cerebelul este deosebit de important în activitatea musculară. Dacă la un animal de experienţă se produc leziuni ale cerebelului, contracţiile lui musculare se realizează mai slab *(astenie)*, muşchii îşi pierd tonusul *(atonie)* şi mişcările nu se mai execută organizat, ci haotic *(astazie)*. În urma acestor leziuni apare o gravă neconcordanţă musculară *(ataxie cerebeloasă)*.

Se poate deci conchide că cerebelul are trei funcţii importante *(Gley)*:

a) funcţia stenică, prin care măreşte energia aparatelor neuro-musculare ;

b) funcţia tonică, prin care se măreşte tonusul muscular ;

c) funcţia statică, prin care se realizează înlănţuirea organizată a contracţiilor musculare.

Prin aceste funcţii cerebelul intervine în procesele de coordonare a mişcărilor voluntare şi în păstrarea echilibrului. Rolul lui este de a coordona colaborarea armonioasă a muşchilor agonişti cu a celor antagonişti, sinergişti şi fixatori. Viteza de execuţie, forţa, amplitudinea, direcţia şi continuitatea mişcării stau sub controlul creierului mic.

Rolul scoarţei cerebrale. Activitatea analizorilor este reglementată de scoarţă, emisferele cerebrale fiind, în ultimă instanţă, un complex de analizori exteriori şi interiori. Fiecare aparat periferic al analizorilor este un transformator special al unei energii exterioare date, într-un proces nervos. Prin căile senzitive, aceste procese nervoase ajung în celulele speciale ale emisferelor cerebrale şi se transformă într-un proces psihic.

Impresia percepută de creier se transformă în senzaţie. Senzaţia, ca imagine a proprietăţilor obiective ale corpurilor materiale din jurul nostru, ia astfel naştere în scoarţă, în urma analizei şi sintezei diferitelor impulsuri nervoase. Senzaţiile reprezintă formele elementare ale proceselor psihice, izvorul tuturor cunoştinţelor noastre despre lume : „Senzaţia este o imagine a materiei în mişcare“ *(V. I. Lenin).*

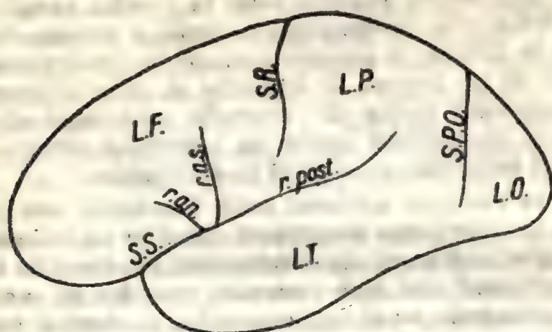


Fig. 52 — Faţa externă a emisferelor cerebrale.

Executarea exerciţiilor fizice este posibilă prin intrarea în funcţiune a analizorilor, descriindu-se chiar în scoarţa cerebrală, şi anume în circumvoluţiunea frontală ascendentă (prerolandică) a acesteia, existenţa unor aşa-zişi centri motori, deci analizori motorii (fig. 52).

La om, prima observaţie a rolului motor al scoarţei cerebrale aparţine lui *Doyle* şi datează din 1667. Acest autor a descris cazul unui accidentat cu o fractură a bazei craniului cu înfundare, care a prezentat paralizii şi tulburări de sensibilitate ale membrelor superior şi inferior opuse. Aceste tulburări au dispărut după operaţia prin care compresiunea a fost înlăturată. Numeroşi autori au studiat în continuare relaţiile dintre scoarţă şi motricitate, ajungîndu-se să se realizeze o hartă a centrilor motori corticali.

Schematic, se poate afirma că aceşti centri sînt aşezaţi într-o ordine răsturnată. În treimea superioară a circumvoluţiunii se găsesc centrii membrelor inferioare şi ai perineului, în treimea mijlocie se găsesc centrii membrelor superioare, ai abdomenului şi ai toracelui, iar în treimea inferioară se găsesc centrii gîtului şi ai laringelui.

Această localizare a centrilor motori nu trebuie acceptată în sens strict, deși unii autori au afirmat că în scoarță pot fi reprezentați chiar mușchi separați *(Hines)* sau chiar fibre musculare *(Chang)*. Conferința de la Oxford din 1959, consacrată localizării funcțiilor pe scoarță, a tras concluzia că teoria localizării în mozaic a funcțiilor motorii este greșită, că impulsul motor necesar pentru realizarea unei mișcări apare într-o zonă corticală întinsă și că funcțiile motorii au o distribuție difuză în scoarță (*Bosma, Trevis* etc.).

Dealtfel, însăși structura fasciculelor piramidale poate demonstra caracterul difuz al funcțiilor motorii. Aceste fascicule conțin aproape un milion de axoni, în timp ce celulele piramidale motorii din circumvoluțiunea prerolandică (celulele *Betz*) nu sînt decît în număr de 34 000 *(Campbell)*. Deci, numai 2% din axonii fasciculelor piramidale provin din celulele *Betz*, restul provenind din celelalte etaje ale creierului.

Căile motorii. La nivelul scoarței cerebrale se realizează legătura dintre sistemele aferente (sistemele sensibilității) și sistemele eferente (sistemele motorii). Impresia percepută de creier se transformă în senzație. Sensibilitatea devine conștientă. Urmarea poate fi o incitație motorie, care are drept rezultat producerea unei mișcări voluntare.

1. *Sistemul piramidal.* Incitația motorie pleacă din circumvoluțiunea prerolandică, la nivelul căreia se găsesc *celulele lui Betz*. Cilindraxii acestor celule alcătuiesc *fasciculul piramidal*.

Fiecare fascicul piramidal, unul de partea dreaptă și celălalt de partea stîngă, străbate părțile superioare ale encefalului și la nivelul bulbului se împarte în cîte două fascicule secundare : *fasciculul piramidal încrucișat* și *fasciculul piramidal direct al lui Türck*.

Fasciculele piramidale încrucișate se încrucișează la nivelul bulbului (de unde și numele lor) și descind în cornul anterior al măduvei, de partea opusă. Fasciculele piramidale așa-zise directe nu se încrucișează la nivelul bulbului, ci la nivelul comisurii albe a măduvei, deci, și ele sînt tot încrucișate. Denumirea de fascicule piramidale directe provine de la faptul că ele nu se încrucișează în bulb, ci mai jos. Pe măsură ce fasciculul descinde, numărul lui de fibre scade și astfel scade și dimensiunea lui.

Fibrele terminale ale fasciculelor piramidale iau contact cu neuronii motori din coarnele anterioare ale măduvei.

2. *Sistemul extrapiramidal.* În afara sistemului piramidal, în prezidarea fenomenelor musculare intervine și sistemul extrapiramidal. Acest sistem este constituit din toate formațiunile de substanță cenușie din interiorul creierului, cu excepția talamusului.

Sistemul piramidal conduce impulsurile motorii care dirijează așa-zisele mișcări voluntare. Sistemul extrapiramidal este regulator al tonusului și al mișcărilor așa-zise involuntare și automate. El conduce adaptarea tonică a mușchilor la diversele atitudini impuse de reacțiile noastre în procesele de acomodare la condițiile lumii exterioare, comandă anumite acte reflexe (închiderea pleoapelor, deglutiția, masticația, mimica) și unele acte automatizate prin repetare (mersul, alergarea, mersul pe bicicletă etc.). Sistemul extrapiramidal contribuie la „menținerea armoniei motrice" (*Rinbaud*).

Fibrele terminale ale sistemului extrapiramidal iau contact tot cu neuronii motori din coarnele anterioare ale măduvei.

3. *Calea finală comună* (motoneuronul alfa). La nivelul neuronilor motori ai coarnelor anterioare ale măduvei se termină nu numai fibrele terminale ale sistemului piramidal și ale sistemului extrapiramidal, ci și cele ale *fasciculului rubrospinal* (din nucleii roșii ai pedunculului cerebral), *fasciculului cerebelos descendent* (din cerebel), *fasciculului vestibulo-spinal* (din nucleii bulbului în legătură cu nervul vestibular al urechii), precum și ale altor fascicule. De aceea, neuronul motor al coarnelor anterioare sau motoneuronul alfa a fost denumit de către *Sherrington* : „calea finală comună". Toate semnalizările motorii adunate la el se transmit apoi prin rădăcinile anterioare la nervi, și, prin intermediul acestora la organele efectoare, mușchii. Cilindraxul motoneuronului alfa se termină în mușchi, într-o regiune specializată, denumită placă motorie.

4. *Placa motorie* reprezintă sinapsa neuro-musculară. În apropierea ei axonul își pierde teaca de mielină și se termină printr-o arborizație delicată (fig. 53).

Placa motorie nu este altceva decît regiunea specializată a sarcoplasmei care se găsește în fața arborizației terminale a axonului. Ea este formată din mase submicroscopice, în formă de bastonașe, aranjate în *palisade,* și are un înveliș special numit *teloglia.* În această sinapsă neuro-musculară se naște curentul muscular din curentul de acțiune nervoasă, deși nu există o continuitate anatomică între terminația nervoasă și palisadele specializate ale sarcoplasmei. Pentru aceasta ia naștere o substanță chimică, de genul acetilcolinei *(Dale* și *Loevi),* care s-ar

elibera la nivelul sinapsei de legătura pe care o are cu proteinele, sub influenţa influxului nervos.

Schematic, mecanismul intim este următorul: la nivelul plăcii motorii există un potenţial de repaus, suprafaţa plăcii fiind electropozitivă faţă de interior, în timp ce la suprafaţa membranei, acetilcolina se găseşte într-o formă inactivă, legată de o proteină. Excitaţia provoacă eliberarea acetilcolinei, care

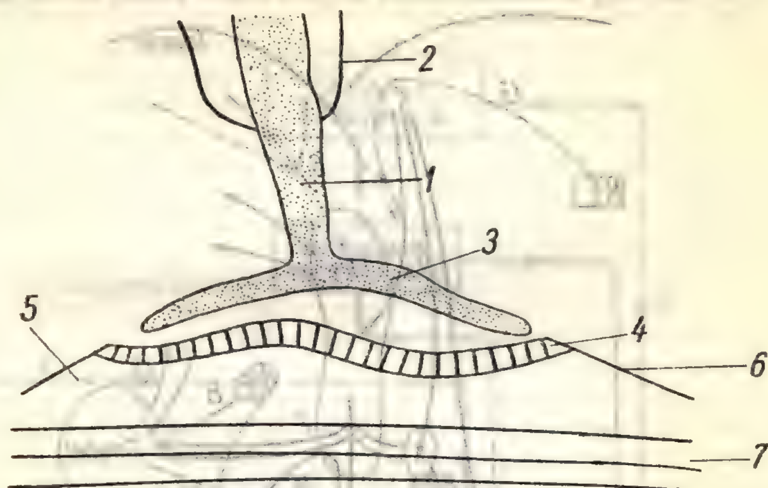


Fig. 53 — Schema unei plăci motorii :

1 — axon ; 2 — mielină ; 3 — terminaţia nervului ; 4 — palisadele plăcii motorii ; 5 — sarcoplasmă ; 6 — sarcolemă ; 7 — fibră musculară.

permeabilizează membrana, se produce o nouă distribuţie a ionilor şi astfel apare *unda de negativitate* care dă naştere contracţiei musculare. După trecerea influxului nervos, acetilcolina este inactivată de colinesterază, fiind descompusă în colină şi acid acetic. Sub influenţa acetilazei, colina plus acidul acetic se recombină în acetilcolină, care se leagă iarăşi de proteină şi revine la forma inactivă, în timp ce placa motorie, refăcîndu-şi stratul dublu de ioni, revine la starea de repaus.

Buclele gamma. La nivelul coarnelor anterioare ale măduvei, în afara motoneuronilor alfa, există şi o altă serie de neuroni motori, denumiţi *motoneuronii gamma*, aflaţi în legătură cu fusurile neuro-musculare prin aşa-numitele bucle gamma (fig. 54). După cum s-a arătat, fusurile neuro-musculare sînt

receptori prin porțiunea lor mijlocie, dar prin capetele lor sînt organe contractile. Prin contracția capetelor, porțiunea mijlocie receptoare este pusă sub tensiune și această stare este transmisă motoneuronilor alfa pe căile sensibilității proprioceptive. Activitatea motoneuronilor gamma și a buclelor gamma contribuie astfel la mărirea reactivității motoneuronilor alfa.

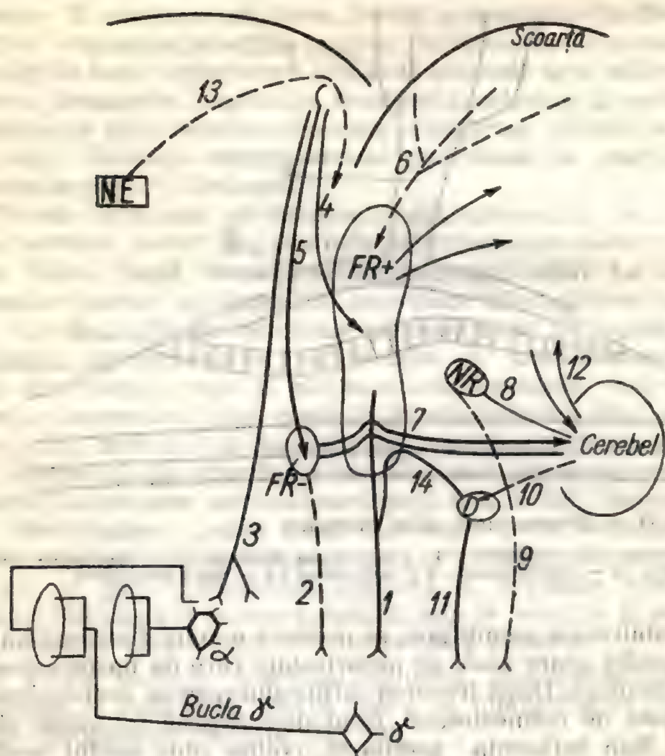


Fig. 54 — Schema funcțională complexă a buclei gamma : gamma — motoneuron gamma ; alfa — motoneuron alfa ; NE — corpul striat ; NR — nucleu roșu ; D — nucleu Deiters ; FR+— formațiuni reticulare facilitatoare ; FR⁻— formațiuni reticulare inhibitoare. Liniile continue arată căile facilitatoare. Liniile întrerupte arată căile inhibitorii. 1 — cale reticulo-protuberanțială ; 2 — cale reticulo-bulbară ; 3 — cale piramidală ; 4, 5 și 6 — căi optico-reticulare ; 7 — căi cerebelo-reticulo-cerebeloase ; 8 — cale cerebelo-rubrică ; 9 — cale rubro-spinală ; 10 — cale cerebelo-vestibulară ; 11 — cale vestibulo-spinală ; 12 — cale cerebelo-cortico-cerebeloasă ; 13 — cale striato-corticală ; 14 — cale vestibulo-reticulo-spinală.

Buclele gamma sînt interesate în toate activitățile motorii, fie ele tonice sau fazice. Prin modificarea activității lor se asigură reglarea sensibilității la întinderea fusurilor neuro-musculare, deci se reglează reflexul miotatic care reprezintă suportul tonusului postural (fig. 55).

În mișcările voluntare, activitatea gamma precede totdeauna activitatea alfa (*Granit* — 1952). Sistemul piramidal acționează într-o primă etapă asupra motoneuronului gamma, ceea

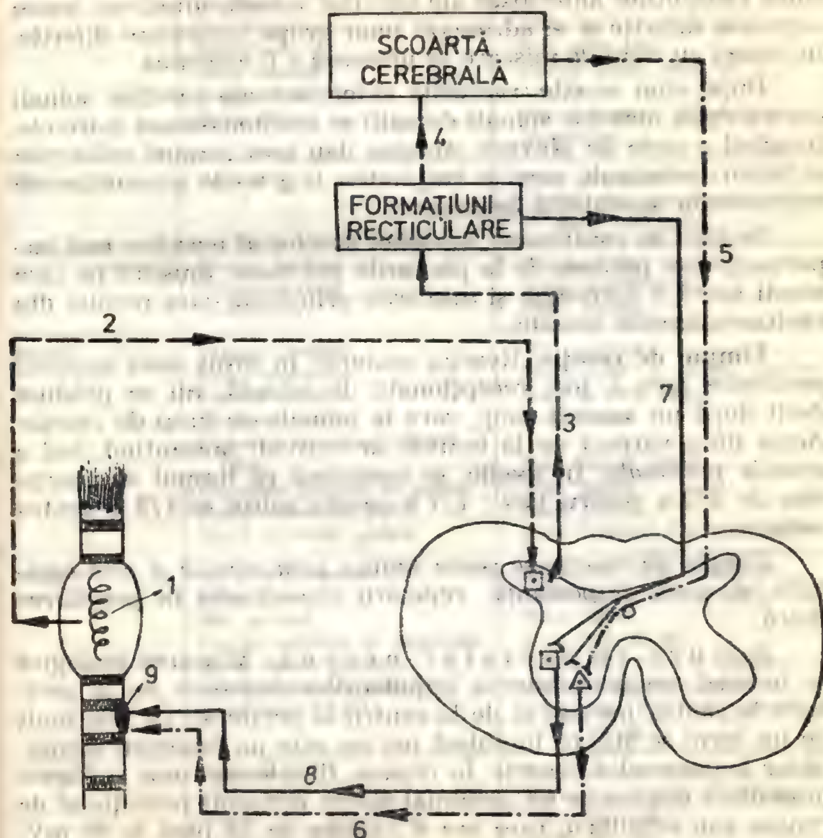


Fig. 55 — Schema simplificată a circuitelor gamma :
⊡ =motoneuron gamma ; ⚠ =motoneuron alfa. 1 — fus neuro-muscular ; 2 — buclă gamma ; 3 — cale spinoreticulară ; 4 — cale reticulo-corticală ; 5 — cale piramidală ; 6 — nerv rahidian ; 7 — cale extrapiramidală ; 8 — nerv rahidian și 9 — placă motorie.

ce atrage o mărire a reactivității motoneuronului alfa și numai într-o a doua fază acționează direct asupra motoneuronului alfa, producînd activitatea motorie.

Motoneuronul gamma, ca și buclele gamma sînt astfel influențate de căile cortico-reticulo-spinale (reticulo-bulbară, reticulo-protuberanțială), de căile striato-corticale și de căile cerebelo-reticulo-spinale.

Traseele nervoase motorii și acțiunile musculare. Impulsurile nervoase motorii pornite de la sistemul nervos central, pe calea rădăcinilor anterioare ale nervilor spinali, urmăresc trasee nervoase diferite și se adresează unor grupe musculare diferite, în raport cu tipul de mișcare ce urmează a fi executat.

După cum se știe, ramurile anterioare ale nervilor spinali (cu excepția nervilor spinali dorsali) se anastomozează între ele, formînd o serie de *plexuri*. Acestea dau apoi ramuri colaterale și ramuri terminale, care se răspîndesc la grupele musculare ale segmentelor aparatului locomotor.

Redăm, în continuare, un tabel succint al nervilor mai importanți care pornesc de la plexurile nervoase, mușchii pe care acești nervi îi inervează și mișcările principale care rezultă din excitarea acestor mușchi.

Timpul de reacție. Reacția motorie, în urma unei impresii periferice care a fost recepționată de scoarță, nu se produce decît după un anumit timp, care ia numele de timp de reacție. Acest timp variază de la individ la individ, prezentînd deci o *ecuație personală.* În medie, se consideră că timpul de reacție este de 1/7 s pentru tact ; 1/7 s pentru miros și 1/5 s pentru vedere.

Timpul de reacție se poate reduce prin atenție și prin excitație, de unde importanța repetării exercițiului în pregătirea fizică.

Natura impulsului nervos. Mișcarea biologică se bazează pe transmiterea impulsurilor nervoase de la periferie la centrii nervoși și de la centrii la periferie. De mai mult de un secol se știe că impulsul nervos este un fenomen asemănător fenomenului electric. În repaus, fibrele nervoase și fibrele musculare dispun de un potențial stabil, denumit potențialul de repaus sau echilibru, care are o valoare de 70 pînă la 90 mV.

Potențialul fibrelor nervoase și musculare este în ultimă instanță un potențial de membrană. După cum se știe, membranele tuturor celulelor vii dispun de capacitatea de a separa ionii încărcați electric, ceea ce atrage instalarea potențialelor de

Mușchii inervați de plexul brahial

Nervul	Mușchii	Acțiunea
1	2	3
Ramuri colaterale	Mare pectoral	Rot. int. br., Proiect. umăr înainte
	Mic pectoral	Fixează și ridică umăr
	Romboid	
	Supraspinos	Abd. br.
	Subspinos	Rot. ext. br.
	Mare rotund	Ridică umăr, add. br.
	Mare dorsal	Add. br.
	Mare dințat	Rot. omoplat, ridică umăr
		Inspirator
Circumflex	Deltoid	Abd. și ridică br. (Fasc. ant. rot. înainte ; fasc. post. rot. ext.)
Musculo-cutanat	Biceps brahial	Supin și flex. antebr.
	Coraco-brahial	Add. și ridică br.
	Brahial ant.	Flex. antebr.
Radial	Triceps brahial	Ext. antebr.
	Lung supinator	Flex., add. și supin. antebr.
	Primul radial	Ext. și add. mîna
	Al doilea radial	Ext. mînă
	Extensor comun al degetelor	Ext. dg. și mînă
	Extensor propriu al police	Ext. police
	Lung abdomen police	Abd. police
	Scurt extensor police	Ext. falanga I și add. police
Median	Rotund pronator	Pron. și flex. antebraț
	Mare palmar	Flex. mînă și antebraț
	Mic palmar	Flex. mînă
	Flexor superior al degetelor	Flex. fal. II dg.
	Lung flexor police	Flex. fal. II și I police
	Scurt adductor police	Add. și opoziție police
	Lombrical I și II	Flex. fal. I și ext. falanga II și III dg.
Cubital	Cubital ant.	Flex. și add. mînă
	Flex. prof. degete (IV–V)	Flex. dg. IV și V mînă
	Scurt. flex. deget mic	Flex. dg. mic
	Abductor deget mic	Abd. dg. mic
	Adductor deget mic	Add. dg. mic
	Lombricali	Flex. fal. I și ext. fal. II și III dg.
	Interosoși dorsali	Depărtează dg.

Mușchi inervați de plexul lombar

Mușchii	Acțiunea
Pectineu	Add. cps. pe bz.
Croitor	Flex. și add. cps.
Cvadriceps	Ex. gb. și flex. cps.

Mușchii inervați de plexul sacrat (prin nervul sciatic)

Nervul	Mușchii	Acțiunea
Sciatic popliteu-extern	Tibial ant.	Flex. și add. pic.
	Ext. com. degete	Flex. pic. și ext. dg.
	Ext. pr. haluce	Flex. și add. pic. și ext. dg.
	Lung peronier lat	Ext. pic. susținător al bolții plantare
	Scurt peronier lat	Ext. și abd. pic.
	Pedios	Ext. și add. falanga I dg.
Tibial posterior	Triceps sural	Ext. pic.
	Flexor comun degete	Flex. dg. și ext. pic.
	Lung flexor propriu haluce	Flex. dg. mare
	Tibial posterior	Ext. și add. pic.
	Abductor haluce	Abd. dg. mare
	Scurt flexor plantar	Flex. falange
	Abductor deget mic	Abd. dg.
	Lombricali	Flex. fal. I dg.

membrană. În plus, celulele specializate ale nervilor și mușchilor prezintă și proprietatea de a fi excitabile.

Orice modificare a mediului, deci orice stimul, atrage o modificare trecătoare a permeabilității membranei față de ioni, deci a permeabilității de membrană și a potențialului de repaus. Dacă un asemenea stimul interesează terminația unei prelungiri a celulei nervoase, modificarea de potențial nu se limitează numai la nivelul de aplicare a stimulului, ci se extinde, ca o undă, pe membrana întregii celule. Modificarea propagată se numește *impuls*, iar manifestarea sa electrică — *potențial de acțiune.*

Pentru a se produce un impuls, potențialul de membrană trebuie să coboare pînă la o valoare critică, numită *prag*. Odată atins acest prag, potențialul de acțiune se dezvoltă în explozii

constante, de o intensitate mereu aceeași. Intensitatea potențialului de acțiune declanșat nu este proporțională cu intensitatea stimulului. Pentru un stimul dat, terminația nervoasă poate răspunde sau cu un potențial de acțiune complet dacă stimulul a fost suficient pentru a coborî potențialul de membrană pînă la valoare critică a pragului, sau nu răspunde deloc dacă pragul nu a fost atins. Deci, se acționează conform legii : „tot sau nimic".

CONTRACȚIA MUSCULARĂ

A doua forță interioară care intervine în realizarea mișcării, ca o reacție caracteristică la stimulul impulsurilor nervoase, este forța de contracție musculară.

Unitatea motorie. Mușchiul striat funcționează prin jocul coordonat al unităților motoare. O unitate motoare este ansamblul format de un motoneuron alfa din cornul anterior al măduvei și cele 120—180 fibre musculare, pe care le inervează *(Sherrington)*. La aceasta se adaugă întreaga rețea vasculară care irigă întreaga unitate motorie.

Numărul fibrelor musculare dependente de un motoneuron alfa variază în raport cu grosimea mușchilor. La mușchii mari, cum sînt fesierii, fiecare neuron motor inervează 165—180 fibre, pe cînd la mușchii degetelor un neuron motor inervează mult mai puține fibre.

Motoneuronul alfa „calea finală comună", spre care merg toate căile motricității, primește toate influxurile motorii, indiferent de originea lor și cînd starea de excitație care rezultă din această sumație a atins un prag suficient, neuronul reacționează stereotip, trimițînd un influx motor fibrelor musculare din cîmpul său de acțiune. Ansamblul fibrelor musculare răspund și ele printr-o reacție stereotipă. Conform legii „tot sau nimic", fiecare fibră reacționează printr-o contracție totală și eliberează astfel maximum de energie de care este capabilă în acel moment. Energia eliberată de o fibră musculară depinde, prin urmare, de condițiile ei proprii de metabolism și nu și de intensitatea ordinului motor, care este mereu aceeași.

Un mușchi în totalitate este, totuși, capabil să se contracte cu intensități variate și lucrul se explică prin două mecanisme. În primul rînd, prin frecvența variabilă a impulsurilor nervoase, neuronul motor descărcînd o salvă de influxuri, iar fibrele musculare răspunzînd printr-o succesiune de contracții. Tensiunea care se dezvoltă în unitatea motorie se va mări în raport direct

proporţional cu frecvenţa cu care se succed impulsurile, care au putere de sumaţie în timp. Al doilea mecanism prin care se explică variaţia de intensitate a contracţiei musculare este cel al sumaţiei în spaţiu a unui număr din ce în ce mai mare de unităţi motorii care intră în acţiune.

Tonusul muscular. Activitatea de bază a muşchiului, fără de care nici o altă activitate nu ar fi posibilă, se manifestă sub forma tonusului muscular. Acesta poate fi definit ca o „stare specială de semicontracţie pe care muşchiul o prezintă şi în repaus şi care îi conservă relieful".

Tonusul muscular este un fenomen constant, care are la bază dubla inervaţie a muşchiului : *cerebro-spinală*, în raport cu marea excitabilitate a muşchiului, şi *vegetativă*, în raport cu mica excitabilitate a muşchiului *(Bielschowski)*.

Tonusul este un fenomen nervos reflex. El persistă şi la animalul decerebrat, dar nu persistă dacă se secţionează nervii periferici ai segmentului respectiv *(Brodgeest)* sau dacă se secţionează numai rădăcinile posterioare ale neuronului. Impresiile nervoase senzitive pornesc de la exteroceptori şi interoceptori, iar impulsurile motorii se întorc din nou la muşchi. Actul reflex care menţine tonusul muscular se numeşte *reflex de întindere* sau *reflex miotatic* şi intervine în menţinerea poziţiei ortostatice.

Poziţia ortostatică este menţinută împotriva forţei gravitaţionale prin contracţia muşchilor întinşi, această contracţie fiind reglată de un bombardament de impulsuri eferente asupra neuronului motor. După cum s-a văzut, buclele gamma contribuie la menţinerea poziţiei ortostatice prin reglarea sensibilităţii la întindere a fusurilor neuro-musculare.

În afara factorului nervos şi factorii endocrini influenţează tonusul. Bărbaţii au muşchii mai tonici decît femeile datorită acţiunii androsteronilor, hormoni sexuali masculini.

Contracţia musculară. Tonusul muscular conferă muşchiului proprietatea fundamentală de a se contracta ca urmare a impulsurilor nervoase. Rezultatul întregii activităţi nervoase în ceea ce priveşte mişcarea este contracţia musculară. Văzut din acest punct de vedere, muşchiul scheletic „reprezintă mijlocul prin care organismul reacţionează faţă de mediul ambiant extern" *(Woodbury*—1960). Toată diversitatea infinită a manifestărilor externe ale activităţii cerebrale poate fi privită, în ultimă instanţă, ca un singur fenomen : acela al mişcării musculare *(Secenov)*.

Contracția musculară reprezintă o manifestare legată de schimbarea elasticității musculare. Ea se manifestă fie ca o întărire a mușchiului, fie ca o modificare și de tărie și de formă a acestuia, după cum contracția se face pe loc *(contracție izometrică)* sau antrenează o scurtare a mușchiului și o deplasare a segmentelor osoase *(contracție izotonică)*. Se poate deosebi și un al treilea mod de contracție, ***contracția în alungire***, care apare atunci cînd forța ce se opune depășește forța musculară și întinde mușchiul.

Asupra dezvoltării musculare, contracțiile izometrice și izotonice au efecte deosebite. Contracțiile izometrice au ca rezultat creșterea volumului și greutății musculare și deci a forței musculare, deoarece ele produc o creștere a cantității de sarcoplasmă a fibrelor musculare și o redistribuire a nucleilor, care își pierd poziția marginală și devin mai centrali.

Contracțiile izotonice nu au aceleași efecte, ele produc o creștere minimă a cantității de sarcoplasmă, iar nucleii își păstrează dispoziția marginală. Din această cauză, în urma contracțiilor izotonice, volumul, greutatea și forța de contracție a mușchilor cresc foarte puțin.

Sincronizarea acțiunilor musculare. În executarea unei mișcări nu intervine numai mușchiul care execută mișcarea *(mușchiul agonist)*, ci și alte grupe musculare. Trebuie deosebite următoarele grupe musculare participante :

1. *Motorul primar* este mușchiul sau grupul muscular care efectuează mișcarea (agonistul).

2. *Antagonistul* este mușchiul care controlează efectuarea continuă și gradată a mișcării. De exemplu : dacă se contractă bicepsul brahial cu scopul de a se flecta antebrațul pe braț, în același timp se contractă și tricepsul brahial, care moderează mișcarea *(legea lui Sherrington)*.

3. *Mușchii de fixare* susțin segmentul în poziția cea mai utilă și conferă astfel forță mișcării. O aruncare, de exemplu, nu se poate executa numai cu mușchii flexori ai antebrațului, ci și cu fixarea cotului și a umărului în poziția cea mai convenabilă.

4. *Mușchii neutralizatori* sînt antagoniștii care suprimă mișcarea secundară a motorului principal. Ei intervin după terminarea mișcării.

În afară de aceste grupe musculare, mai intervine un alt factor de mare importanță, care complică problema acțiunilor musculare. Mobilitatea nu se bazează pe contracții musculare

izolate, ci pe o serie de acţiuni armonice sincronizate ale unui lanţ de grupe musculare.

Muşchii nu acţionează izolat, ci în lanţuri musculare, după cum nici o articulaţie nu se mişcă izolat, ci prin intrarea în joc a unui lanţ articular. Un impuls motor pornit de la scoarţă pune în mişcare lanţul muscular şi există o anumită succesiune în ordinea contracţiilor musculare care produc mişcarea în ansamblul ei. Această succesiune manifestată la exterior corespunde în fond mecanismului reflex catenar care stă la baza mişcărilor. De exemplu, în mişcarea de aplecare a capului întîi pielosul coboară bărbia, apoi sternocleidomastoidianul flectează capul. Cînd ne aşezăm pe un scaun, intră în acţiune, în ordine, muşchii spatelui, care îndoaie corpul înainte, intercostalii care blochează toracele, abdominalii care trag trunchiul spre bazin şi psoasul care flectează coapsa.

Clasificarea mişcărilor. Participarea grupelor musculare antagoniste, fixatoare şi neutralizatoare, la acţiunea motorului primar depinde de forţa, amplitudinea şi poziţia în care se execută mişcarea. Ţinînd cont de această participare, mişcările se pot împărţi, după *Bowen*, în :

1. *Mişcări de tensiune slabă* (scrisul, mişcări de fineţe, mişcări de îndemînare).
2. *Mişcări de tensiune rapidă* (mişcări de forţă).
3. *Mişcări balistice* (aruncări, loviri etc.).
4. *Mişcări de oscilaţie* (pendulări).

O altă clasificare a mişcărilor se referă la direcţia lor, împărţindu-se în :

1. *Mişcări rectilinii.*
2. *Mişcări angulare sau rotatorii.*
3. *Mişcări curbilinii.*

În fine, mişcările se mai pot clasifica în raport cu planul în care este dispusă axa lor de mişcare, şi anume :

— în plan frontal — flexie şi extensie ;
— în plan sagital — abducţia şi adducţia ;
— în mai multe planuri — circumducţia ;
— în axul lung al segmentului — rotaţii.

Mişcările cu axa în plan frontal sînt flexia şi extensia. Mişcările de flexie sînt mişcările de îndoire faţă de poziţia iniţială ortostatică. Mişcările de extensie sînt opuse acestora şi au loc în sensul revenirii la poziţia ortostatică sau în sensul exagerării acestei poziţii. Nu însă întotdeauna aceste mişcări sînt etichetate ca atare. La umăr, de exemplu, mişcarea de flexie se nu-

mește *proiecție înainte* sau *anteducție*, iar cea de extensie — *proiecție înapoi* sau *retroducție*. De asemenea, la laba piciorului, flexia gleznei are loc în plan anterior, în timp ce flexia labei din articulația medio-tarsiană are loc în plan posterior. De aceea se preferă termenul de *flexie dorsală* în loc de flexia labei piciorului și termenul de *flexie plantară* în loc de extensia labei piciorului.

Mișcările care au axa în plan sagital sînt abducția și adducția, după cum segmentul respectiv se îndepărtează sau se apropie de planul sagital.

Mișcările de înclinare (îndoire) laterală și de revenire ale trunchiului se realizează față de planul medio-sagital. Dar pentru mișcările distale ale membrelor terminologia este diferit înțeleasă. Planul sagital față de care se face orientarea nu este același pentru toți autorii. Școala franceză consideră că acest plan este planul medio-sagital al trunchiului, pe cînd școala germană și anglo-saxonă, care folosesc terminologia N.B.A., consideră că acest plan este planul medio-sagital al membrului care execută mișcarea. De aici provin unele neînțelegeri aparente, deoarece ducerea labei piciorului înăuntru, de exemplu, este denumită adducție de către autorii francezi și abducție de către N.B.A. Chiar și denumirile mușchilor sînt, din această cauză, deosebite. Astfel, mușchiul care trage de haluce în varus este denumit adductor de francezi și abductor de N.B.A., iar mușchiul care trage halucele în valgus este denumit abductor de francezi și adductor de N.B.A.

Mișcarea care se execută concomitent pe mai multe planuri este *circumducția*, adică mișcarea prin care segmentul descrie un con, cu baza mai mare sau mai mică, al cărui vîrf este reprezentat de axa articulației.

Rotațiile se execută în jurul axei lungi a segmentului și pot fi interne sau externe. La antebraț, aceste mișcări capătă numele de mișcare de *pronație* (rotație internă) și de *supinație* (rotație externă).

Mișcări voluntare și mișcări involuntare. Locomoția umană cunoaște două tipuri de mișcări, greșit denumite *mișcări voluntare* și *mișcări involuntare*. După această clasificare, idealistă, mișcarea voluntară ar fi : „acea mișcare care se produce din impulsuri *interioare*, independent de mediul exterior și deci fără o condiționare aferentă“, în timp ce mișcarea involuntară ar fi actele reflexe.

Concepţia materialistă a mişcării ne arată însă, aşa cum se exprimă *Secenov* (1886) că „toate actele vieţii conştiente şi inconştiente — după modul de provenienţă — sînt acte reflexe".

Primele mişcări care apar în filogenie sînt acte reflexe necondiţionate, de apărare şi de orientare. Primele mişcări care apar în ontogenie sînt tot acte reflexe necondiţionate.

Mişcările aşa-zise voluntare apar pe baza acestora şi sînt în fond acte reflexe condiţionate. La început, ele sînt lente, nediferenţiate şi slabe, dar cu trecerea timpului, prin repetare, ele se întăresc, se permanentizează şi se perfecţionează.

Mişcarea aşa-zisă inconştientă, care se realizează la organismele superioare fără participarea imediată a scoarţei cerebrale, este un act automat, o deprindere motorie, care a fost iniţial un act conştient.

Trecerea conducerii mişcărilor aşa-zise involuntare din etajele superioare în etajele inferioare ale sistemului nervos central a reprezentat o necesitate funcţională. *Pavlov* explică minunat aceasta : „Muşchii scheletului trimit cu toţii, în mod constant, impulsuri speciale centripete la sistemul nervos central. Aceste impulsuri merg însă, în primul rînd, înspre segmentele inferioare ale creierului şi nu se fac deloc resimţite de emisferele cerebrale, servind numai pentru autoreglare şi precizarea mişcărilor. Dacă impulsurile centripete rezultate din toate mişcările pe care le executăm ar merge în măsură atît de mare spre emisferele cerebrale, aceste impulsuri numeroase ar constitui o piedică serioasă pentru relaţiile scoarţei cu lumea din afară şi ar exclude aproape cu desăvîrşire executarea celui mai important rol al ei".

Forţa musculară. Să încercăm să vedem care este mecanismul biomecanic de acţiune a forţei musculare, izolată de pîrghia osoasă asupra căreia acţionează.

Acţiunea biomecanică a muşchiului provoacă fie menţinerea unei atitudini, a unei posturi, şi atunci travaliul produs este *static*, fie realizarea unei mişcări, şi atunci travaliul este *dinamic*.

Cum efectul contracţiei musculare se traduce prin travaliu mecanic, forţa musculară ar putea fi, cel puţin teoretic, măsurată. Dar această determinare întîmpină o serie de dificultăţi, deoarece datele cunoscute ale problemei (caracteristicile morfofuncţionale ale muşchiului) de la care se porneşte pentru aflarea datei necunoscute (travaliul mecanic) nu pot fi integrate în totalitatea lor în diversele formule matematice propuse.

1. *Secţiunea fiziologică a muşchiului.* Forţa musculară trebuie pusă în raport, în primul rînd, cu numărul fibrelor musculare. Cantitatea de fibre musculare poate fi redată prin calcularea suprafeţei secţiunii transversale a corpului muscular la nivelul unde corpul muscular este cel mai dezvoltat. Din această cauză, secţiunea transversală a primit şi denumirea de *secţiune fiziologică*.

Cunoscîndu-se că 1 cm^2 de secţiune poate exercita la om o forţă de tracţiune de 5—8 kg, s-a ajuns să se stabilească, plecîndu-se de la studiile clasice făcute de *Strasser* şi *Altschuler* asupra secţiunilor transversale, forţa probabilă de tracţiune, exprimată în kilograme. Pentru o parte din muşchii piciorului această forţă ar fi, de exemplu, următoarea :

Muşchii	Secţiunea transversală în cm^2	Forţa în kg
Triceps sural	82	420
Flexor comun al degetelor	4	20
Flexor pentru haluce	8	40
Gambier posterior	17,25	86,25
Peronier scurt	2,6	11,20
Peronier lung	7	35
Gambier anterior	4	20
Extensor comun al degetelor	3,75	18,75
Extensor propriu haluce	8	40

Dar această metodă nu poate să-şi găsească aplicaţia în clinică şi, în plus, este deficitară, deoarece un muşchi nu are aceeaşi secţiune transversală pe toată lungimea lui, iar forţa musculară depinde nu numai de numărul fibrelor musculare, ci şi de lungimea lor.

2. *Lungimea fibrelor musculare.* Înălţimea la care un muşchi poate să ridice o anumită greutate este în raport direct cu lungimea fibrelor, posibilitatea de scurtare fiind proporţională cu aceasta. Muşchii cu fibre paralele şi lungi au, deci, o amplitudine mai mare de mişcare şi sînt, de aceea, muşchi de viteză. Muşchii peniformi sînt muşchi de forţă, deoarece un mare număr de fibre se prinde pe tendon şi din cauza oblicităţii inserţiilor acestora, numai o parte din forţa lor de contracţie este utilizată. De aceea s-a încercat să se determine travaliul

muscular înmulţind greutatea deplasată cu distanţa (înălţimea) la care s-a făcut deplasarea, după binecunoscuta formulă :

$$T = G \times I$$

în care T=travaliul, G=greutatea deplasată, iar I=înălţimea atinsă.

Rezultatele pe care le dă această formulă nu sînt însă concludente în biomecanica practică. Ele ne arată travaliul realizat pe întreaga amplitudine de mişcare în condiţiuni experimentale, pe cînd pe noi ne interesează şi forţele de care poate dispune muşchiul atunci cînd se găseşte în anumite poziţii de scurtare. În plus, ştim că muşchiul nu acţionează izolat, ci prin intermediul pîrghiilor osoase.

3. *Combinarea secţiunii fiziologice cu lungimea fibrelor.* Întrucît determinarea forţei musculare cu ajutorul secţiunii fiziologice sau al lungimii fibrelor, luate izolat, nu dă rezultate concludente, s-a apelat la o formulă care să cuprindă ambele date.

În această formulă, forţa musculară (F), exprimată în kilogrammetri, este egală cu suprafaţa în cm^2 a secţiunii fiziologice (SF) înmulţită cu scurtarea (S) fibrelor musculare în timpul contracţiei, exprimată în metri şi înmulţit cu 10 :

$$F = SF \times S \times 10$$

Iată, de exemplu, care este forţa musculară a unora dintre flexorii şi extensorii genunchiului, determinată de *Fick* cu ajutorul acestei formule :

Grupa	Denumirea muşchiului	Scurtare	Secţiune fiziologică	Travaliu
Flexori	Biceps femural	0,053	17,37	10,248
	Semimembranos	0,064	26,38	16,683
	Semitendinos	0,134	7,27	13,242
	Drept intern	0,075	4,11	3,082
	Croitor	0,070	3,17	2,319
	TOTAL :			*45,574*
Extensori	Vast intern şi extern	0,080	148,30	118,640
	Drept femural	0,081	28,89	23,400
	Tensor fascie lată	0,010	7,56	0,756
	TOTAL :			*142,796*

Dar şi această formulă este departe de a integra toate caracteristicile funcţionale ale muşchilor. Ea neglijează printre altele, volumul corpului muscular.

4. *Greutatea uscată a corpului muscular.* Pentru a se obţine o valoare mai apropiată de dimensiunile reale (pe trei dimensiuni) ale muşchilor, ale căror forme fiind foarte neregulate nu permit calcularea matematică a volumului lor, s-a apelat la o altă soluţie şi anume la determinarea greutăţii lor uscate. Pentru aceasta se izolează muşchiul respectiv, se extirpă, i se secţionează tendoanele şi se deshidratează. După cum ştim, 70—75% din ţesutul muscular este reprezentat de apă, care trebuie eliminată din calcule. Greutatea uscată a corpului muscular ar reprezenta deci o valoare mai apropiată de dimensiunile volumetrice funcţionale ale muşchiului. Adăugată celorlalte două caracteristici morfo-funcţionale, adică secţiunii fiziologice şi lungimii fibrelor, greutatea uscată a muşchiului poate arunca o lumină mai apropiată de realitate asupra forţei musculare.

Iată, după *Schumacher,* aceste valori pentru flexorii şoldului :

Denumirea	Secţiunea fiziologică (în cm²)	Lungimea fibrelor (în cm)	Greutatea uscată (în g)
Psoas	8,9	7,7	14,3
Iliac	10,2	10,5	22,5
Drept anterior	15,5	6,1	29,1
Croitor	4,1	42,2	24,4
Tensor fascie lata	3,7	10,5	9,7
	TOTAL :		100,0

Dar nici această rezolvare nu este suficientă. Muşchii nu acţionează după legi mecanice stricte şi acţiunea unuia nu corespunde acţiunii altuia chiar dacă au secţiunea fiziologică, lungimea fibrelor şi greutatea uscată identică.

În afară de caracteristicile funcţionale specifice fiecărui muşchi, mai trebuie avut în vedere şi faptul că mişcarea se realizează nu numai prin forţa musculară intrinsecă, ci şi prin forţa rezultată din aplicarea forţei musculare intrinsece asupra pîrghiilor osoase.

10 — Anatomia funcţională şi biomecanica aparatului locomotor — cd. 271

PÎRGHIILE OSOASE

A treia forţă care intervine în realizarea mişcărilor este reprezentată de acţiunea pîrghiilor osoase. Am văzut că impulsurile nervoase sau biocurenţii nervoşi produc contracţii musculare, transformarea energiei nervoase în energie musculară realizîndu-se la nivelul sinapselor neuro-musculare (plăcile motorii). La rîndul lor, contracţiile musculare atrag deplasarea segmentelor osoase la nivelul inserţiilor musculare, energia musculară transformîndu-se astfel în energie mecanică. Să ne reamintim definiţia dată muşchiului de către *Lapique*: „muşchiul este un organ diferenţiat, care produce prin contracţie lucru mecanic".

Segmentele osoase asupra cărora acţionează muşchii se comportă, la prima vedere, ca pîrghiile din fizică. În mecanică, o pîrghie este o maşină simplă, destinată să echilibreze forţele sau să le deplaseze cu ajutorul altor forţe. Se recunosc la pîrghiile mecanice trei puncte de aplicare a forţelor : punctul de sprijin (S), punctul rezistenţei (R) şi punctul de aplicare a forţei motorii (F). Pîrghia are, deci, două puncte în care se aplică forţele statice S şi R şi un punct în care se aplică forţa motorie F.

Raportul dintre aceste puncte poate varia şi pîrghiile se împart, după acest criteriu, în pîrghii de gradul I (R.S.F., cu sprijinul la mijloc), de gradul II (S.R.F., cu rezistenţa la mijloc) şi de gradul III (S.F.R., cu forţa la mijloc).

Funcţia mecanică a pîrghiilor se deduce din formula lor de echilibru :

$$F \times l = R \times r \quad \text{sau} \quad \frac{Fl}{Rr}$$

în care F=forţa, l=braţul forţei, R=rezistenţa şi r=braţul rezistenţei (fig. 56).

Pîrghiile de gradul I sînt pîrghii de echilibru, cele de gradul II sînt pîrghii de forţă, iar cele de gradul III pîrghii de viteză.

Segmentele osoase ca pîrghii. La pîrghia osoasă sprijinul (S) este reprezentat de axa biomecanică a mişcării sau de punctul de sprijin pe sol sau un aparat oarecare, rezistenţa (R) este reprezentată de greutatea corpului sau segmentului care se deplasează, la care se poate adăuga şi greutatea unui material oarecare, iar forţa (F) este reprezentată de inserţia pe segmentul osos al muşchiului care realizează mişcarea. În acest sens se

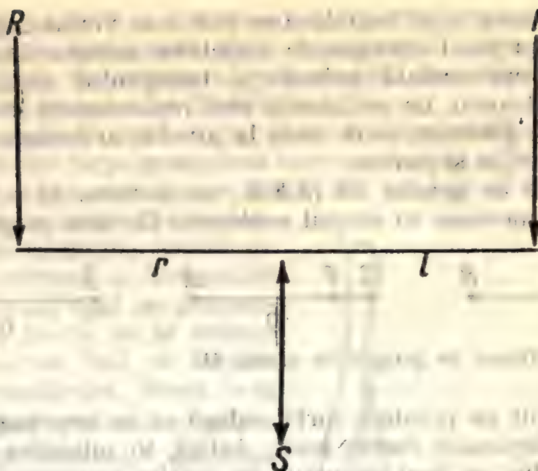


Fig. 56 — Funcția mecanică a pîrghiilor.

pot da o serie de exemple clasice (fig. 57). Capul în echilibru pe coloana vertebrală reprezintă un exemplu de pîrghie de gradul I (F.S.R., cu sprijinul la mijloc). Punctul de sprijin corespunde articulației condililor occipitali cu vertebra atlas, rezistența este reprezentată prin greutatea capului, care tinde să cadă înainte, iar puterea este reprezentată prin mușchii cefei, care opresc căderea capului înainte.

Numai într-o singură situație întîlnim în corpul omenesc un exemplu de pîrghie de gradul II (S.R.F., cu rezistența la

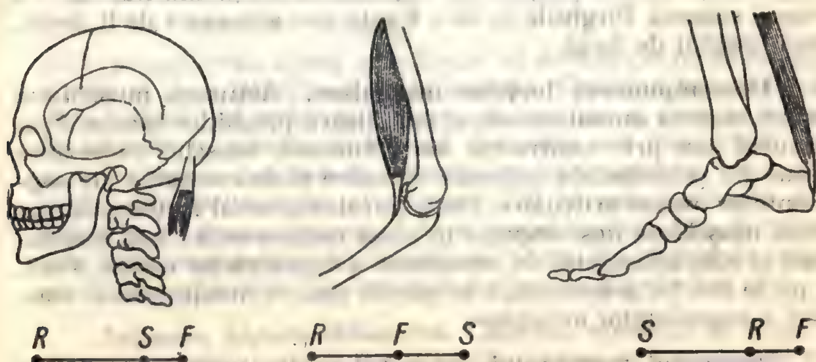


Fig. 57 — Exemple de pîrghii din corpul omenesc.

mijloc) şi anume cînd individul se ridică în vîrful degetelor. În acest caz, sprijinul corespunde capetelor metatarsianului, puterea este reprezentată prin forţa tricepsului sural, care se aplică pe calcaneu, iar rezistenţa este reprezentată de proiecţia centrului de greutate, care cade la nivelul articulaţiei gleznei, deci între sprijin şi putere.

Pîrghiile de gradul III (S.F.R., cu puterea la mijloc) sînt cele mai numeroase în corpul omenesc. Ele sînt pîrghii de vi-

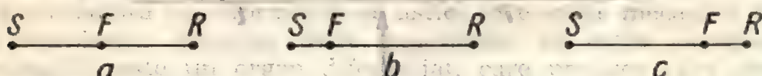


Fig. 58 — Tipuri de pîrghii de gradul III.

teză şi permit ca printr-o forţă redusă să se imprime braţului rezistenţei deplasări foarte mari. Astfel, în mişcarea de flexie a antebraţului pe braţ, punctul de sprijin corespunde articulaţiei cotului. În timpul mişcărilor de extensie, însă, cotul devine o pîrghie de gradul I, deoarece sprijinul trece la mijloc.

Distanţele dintre punctele de aplicare a rezistenţei, forţei şi sprijinului au o deosebită importanţă în mecanica pîrghiilor de gradul III. Cînd forţa (F) funcţionează la mijlocul distanţei dintre punctele de aplicare a sprijinului S şi rezistenţei R, pîrghia acţionează cu o forţă şi o viteză medie (fig. 58 a). Dacă forţa este mai apropiată de punctul de sprijin S (fig. 58 b), atunci pîrghia va acţiona cu forţă scăzută, dar cu viteză crescută. Pîrghiile în care F este mai apropiată de S sînt, deci, pîrghii de viteză. Dacă forţa F este mai apropiată de punctul rezistenţei R (fig. 58 c), atunci pîrghia va acţiona cu forţă mărită, dar cu viteză scăzută. Pîrghiile în care F este mai apropiată de R devin, deci, pîrghii de forţă.

Descompunerea forţelor musculare. Acţiunea muşchiului nu se execută numai cu scopul mobilizării pîrghiilor osoase. Prin tonusul sau prin contracţia lor voluntară, muşchii reprezintă unul din principalele mijloace de unire şi de contenţie ale segmentelor osoase articulare. După paralelogramul forţelor, forma unui muşchi se descompune în două componente : una musculară şi alta articulară, de menţinere a suprafeţelor osoase. Deci, o parte din forţa musculară se pierde pentru menţinerea în contact a suprafeţelor articulare.

Momentul muşchiului. Raportul dintre muşchi şi pîrghia lui variază în funcţie de faza acţiunii. În diferitele lui momente

mușchiul poate fi mai mult sau mai puțin perpendicular pe pîrghia pe care acționează. Faza de acțiune în care incidența perpendiculară îi permite un maximum de acțiune se numește *momentul mușchiului (Debrièrre).*

Momentul unui mușchi poate fi calculat. El reprezintă produsul dintre forța musculară care acționează și brațul virtual al pîrghiei (distanța dintre linia de acțiune a mușchiului și axa biomecanică a articulației). De exemplu, brațul de pîrghie virtual al bicepsului brahial este egal cu perpendiculara lăsată de la articulația cotului față de lungimea mușchiului. Acest braț de pîrghie virtual se poate mări sau micșora, deoarece mușchiul în acțiune se depărtează sau se apropie de articulație (fig. 59).

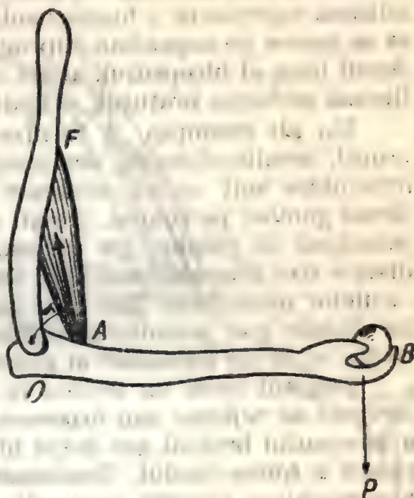


Fig. 59 — **Brațul de pîrghie virtual al bicepsului brahial OA, ce acționează asupra unei pîrghii de gradul III.**

Mușchii cu brațul de pîrghie mic, chiar dacă sînt voluminoși, au un moment mic. Mușchii cu brațul de pîrghie virtual mare, chiar dacă sînt mai puțin voluminoși, au un moment mult mai mare. Astfel, bicepsul și brahialul anterior, dispuși oblic pe antebraț, ajung prin flexie să devină perpendiculari pe acesta și să se depărteze de articulație. Crescînd brațul de pîrghie virtual, va crește și puterea de acțiune a acestor mușchi. În schimb, în poziție de repaus deltoidul are fasciculele musculare dispuse paralel cu direcția osului humerus, pe a cărui impresiune deltoidiană el se inseră. El își menține acest paralelism și cînd se contractă și duce brațul în abducție, la orizontală. Deși este un mușchi voluminos, brațul lui virtual de pîrghie rămîne neschimbat, iar momentul mușchiului rămîne mic.

Acțiunea hipomochlionului. Calculul mecanic al forței cu care acționează unele dintre pîrghiile osoase se complică și prin intervenția hipomochlionului.

Unii muşchi prezintă acţiuni a căror direcţie nu corespunde direcţiei forţei de acţiune a fasciculelor musculare, deoarece tendoanele lor îşi schimbă direcţia. Astfel, fasciculele musculare ale bicepsului brahial, după orientarea lor, ar trebui să realizeze mişcarea de adducţie a braţului. Prin tendonul lui scurt, bicepsul brahial realizează într-adevăr această mişcare. Dar tendonul lung al bicepsului, după ce iese din culisa bicipitală, unde este orientat vertical, se îndreaptă înăuntru pe extremitatea superioară a humerusului şi devine orizontal, ajungînd să se insere pe suprafaţa supraglenoidiană a omoplatului. Tendonul lung al bicepsului, astfel deviat ca orientare, nu mai realizează adducţia braţului, ci abducţia lui.

Un alt exemplu îl furnizează ischio-gambierii (bicepsul crural, semitendinosul, semimembranosul), ale căror fascicule musculare sînt astfel orientate ca direcţie, încît să realizeze flexia gambei pe coapsă. Aceşti muşchi sînt într-adevăr flexorii principali ai gambei pe coapsă, atît timp cît tendoanele lor distale trec înapoia condililor femurali şi continuă direcţia fasciculelor musculare. Dar cînd gamba este extinsă şi tendoanele lor distale trec înaintea condililor femurali, care le deviază direcţia, ei devin extensori ai gambei pe coapsă.

Punctul unde un tendon îşi schimbă direcţia ia numele de *scripete de reflexie* sau *hipomochlion*. Tendonul lungii porţiuni a bicepsului brahial are drept hipomochlion extremitatea superioară a humerusului. Tendoanele ischio-gambierilor au drept hipomochlion condilii femurali. Intervenţia acestor scripeţi de reflexie complică calculul matematic al forţei de acţiune a pîrghiilor osoase atît prin schimbarea direcţiei de acţiune, cît şi prin punctele de frecare pe care le oferă.

Calculul forţei de acţiune a pîrghiilor. Dacă vrem să calculăm, de exemplu, forţa necesară brahialului anterior pentru ca să ridice o greutate P, fiindcă articulaţia cotului funcţionează după principiul unei balanţe romane (fig. 59), vom considera :

$$F = P \frac{OB}{OA \sin \alpha}$$

în care P=greutatea ; OB=lungimea totală a antebraţului ; OA=distanţa de la axul articulaţiei la punctul de inserţie al brahialului (braţul de pîrghie virtual) ; α=unghiul braţului de pîrghie virtual.

După această formulă se poate afirma că, în general, muşchiul dispune de un maximum de forţă atunci cînd ajunge în

vecinătatea lungimii lui mijlocii. Acest fapt are o mare importanță practică, deoarece ne arată că determinarea capacității funcționale musculare trebuie făcută în poziția în care mușchiul se află la lungimea lui mijlocie.

Dar mecanica anatomică devine de-a dreptul irațională și confuză din momentul în care se încearcă calcularea acțiunii forțelor unui mușchi pluriarticular, iar formulele, oricît de complexe ar fi ele, dau rezultate relative, deoarece însăși determinarea valorilor așa-zise cunoscute, prin care urmează să se afle valoarea necunoscută a forței musculare, ridică probleme practice care nu se pot rezolva decît în parte (fig. 60). Astfel, mușchii ischio-gambieri sar peste două articulații. Concretizarea acțiunilor musculare într-o formulă este imposibilă, deoarece valorile așa-zise cunoscute sînt relative și schimbătoare *(Pol le Cœur)*.

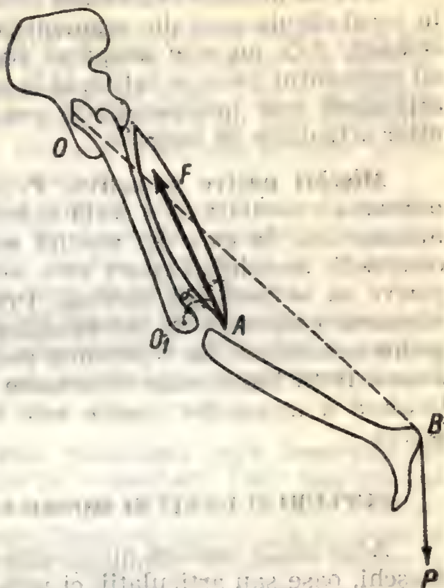


Fig. 60 — **Mușchii ischio-gambieri sar peste două articulații. Concretizarea acțiunilor musculare într-o formulă este imposibilă deoarece valorile așa-zise cunoscute sînt relative și schimbătoare.**

MOBILITATEA ARTICULARĂ

Deplasarea segmentelor osoase angrenează în lanțul mecanismelor motorii și participarea obligatorie a articulațiilor. Articulațiile nu au un simplu rol pasiv în executarea mișcărilor. Forma lor și gradele de libertate de mișcare pe care le oferă reprezintă factori importanți, care dirijează direcția și sensul mișcărilor și care limitează amplitudinea lor. Mobilitatea articulară trebuie, de aceea, considerată un factor activ, care participă la realizarea mișcărilor. Dealtfel, la unele articulații, cum ar fi cea a cotului însăși, conducerea direcției mișcărilor este legată

exclusiv de conformaţia segmentelor osoase. Muşchii efectuează mişcarea, dar direcţia mişcării este imprimată de orientarea anatomică a şanţului trohleei humerale.

Axele biomecanice ale articulaţiilor. După cum o articulaţie prezintă una, două sau trei libertăţi de mişcare, tot aşa ea va prezenta una sau mai multe axe de mişcare.

Axa de mişcare reprezintă linia situată într-un anumit plan, în jurul căruia unul din segmentele osoase se deplasează faţă de celălalt. Axa nu este neapărat fixă, ci se poate deplasa odată cu segmentul (cum se întîmplă la genunchi). Cunoaşterea axelor articulare este indispensabilă pentru determinarea amplitudinilor articulare de mişcare.

Mişcări pasive şi active. Prin mişcare pasivă se înţelege mişcarea executată de o forţă exterioară, de obicei de mîna examinatorului, la care cel studiat nu participă activ, deci nu îşi contractă muşchii. Uneori este necesar ca cercetarea mişcării pasive să se facă sub narcoză. Prin mişcare activă se înţelege mişcarea executată de cel examinat cu ajutorul propriilor sale grupe musculare. Ea reprezintă deci şi o metodă de determinare a capacităţii funcţionale musculare. În general, amplitudinea articulară a mişcărilor pasive este mai mare decît a mişcărilor active.

CUPLURI ŞI LANŢURI MOTRICE

Activităţile motorii nu rezultă din activitatea izolată a unor muşchi, oase sau articulaţii, ci prin punerea în acţiune a cuplurilor şi lanţurilor motrice.

Cupluri de forţă. În timpul diverselor mişcări se realizează atît forţele active, cît şi cele contrarii, care împreună alcătuiesc cupluri de forţă. Cuplul de forţă este, deci, format din două forţe paralele, care acţionează asupra pîrghiilor în direcţii opuse. De exemplu, asupra articulaţiei cotului acţionează concomitent flexorii şi extensorii, acţiunea lor inversîndu-se. Cînd unii sînt agonişti, extensorii antagonişti, iar pîrghia acţionează după principiul unei pîrghii de gradul III, deci ca o pîrghie de viteză. În extensie, extensorii sînt agonişti, flexorii antagonişti, iar pîrghia acţionează după principiul unei pîrghii de gradul I, deci ca o pîrghie de sprijin.

Cupluri cinematice. Două segmente mobile apropiate realizează un cuplu cinematic : gamba cu piciorul, antebraţul cu

mîna etc. În mecanică se descriu trei tipuri de cupluri cinematice : de translaţie, de rotaţie şi elicoidale. În biomecanica corpului omenesc cuplurile de translaţie nu se întîlnesc, cele elicoidale sînt rare (articulaţia gleznei), iar cele de rotaţie sînt numeroase. Dealtfel, mişcările cuplurilor cinematice ale corpului omenesc sînt, în general, mişcări de rotaţie.

Lanţuri cinematice. Cuplurile cinematice se leagă între ele realizînd lanţurile cinematice, care pot fi deschise sau închise.

Lanţul cinematic deschis se termină liber. Într-o aruncare, de exemplu, membrul superior acţionează ca un lanţ cinematic deschis. În lovirea mingii cu piciorul, membrul inferior acţionează tot ca un lanţ cinematic deschis.

Lanţul cinematic închis are ambele capete fixate. În poziţia atîrnat sau atîrnat cu sprijin, de exemplu, membrul superior acţionează ca un lanţ cinematic închis. În poziţia stînd, membrul inferior acţionează ca un lanţ cinematic închis.

Se pot descrie trei tipuri de lanţuri cinematice principale ale corpului omenesc : lanţul cinematic al trunchiului, gîtului şi capului ; lanţul cinematic al membrului superior şi lanţul cinematic al membrului inferior.

Lanţuri musculare. Grupele musculare care deservesc un lanţ cinematic realizează lanţurile musculare. Cum majoritatea mişcărilor omului sînt mişcări complexe, alcătuite din îmbinarea acţiunilor statice şi dinamice, lanţurile musculare au traiecte diferite şi se întretaie. În timpul acţiunilor succesive statice şi dinamice, lanţurile musculare îndeplinesc tot succesiv activităţi statice şi dinamice.

Nu există lanţuri musculare strict active sau strict pasive, ci numai lanţuri care acţionează fie static, fie dinamic. În orice poziţie şi în orice mişcare participă, deci, toate lanţurile musculare care deservesc lanţul cinematic în acţiune.

Lanţurile musculare ale membrelor superioare permit realizarea unor mişcări de mare amplitudine şi de mare fineţe şi precizie. La realizarea acestora intră în acţiune un număr mare de lanţuri musculare. Uneori, în alcătuirea acestor lanţuri musculare intră numai porţiuni din anumiţi muşchi. Fenomenul a devenit posibil graţie capacităţii plastice a scoarţei cerebrale de a stabili legături temporare între diferitele zone neuronale. În condiţii speciale, lanţurile musculare ale membrului superior pot realiza şi sprijinul corpului omenesc.

Lanţurile musculare ale membrelor inferioare îndeplinesc în principal funcţia de sprijin şi de aceea sînt deosebit de pu-

ternic dezvoltate. Ceea ce caracterizează alcătuirea lanțurilor musculare ale membrelor inferioare este dispunerea flexorilor și extensorilor sub forma a două lanțuri antagoniste. Aceste lanțuri sînt alcătuite din grupele musculare ale celor trei segmente ale membrelor inferioare, motiv pentru care au fost numite lanțurile triplei flexii și triplei extensii.

Lanțul muscular al triplei flexii este alcătuit din flexorii coapsei pe bazin, flexorii gambei pe coapsă și flexorii dorsali ai piciorului pe gambă. Lanțul muscular al triplei extensii este alcătuit din extensorii coapsei pe bazin, extensorii gambei pe coapsă și flexorii plantari (extensorii) ai piciorului pe gambă.

Lanțul muscular al triplei extensii este cel care menține poziția ortostatică și propulsionează corpul înainte în mers, alergare și săritură. El este mai bine dezvoltat decît lanțul muscular al triplei flexii, raportul dintre greutatea lor fiind de 2 : 1. De remarcat că la membrul superior raportul dintre greutatea lanțului flexorilor și lanțului extensorilor este de 1 : 1.

Mai sînt însă de remarcat și alte deosebiri morfo-funcționale între lanțurile musculare ale membrelor superioare și inferioare. Raportul dintre greutatea scheletului și a musculaturii este de 327,7 : 1 000 pentru membrele superioare și de 519,8 :1 000 pentru membrele inferioare, care prezintă un schelet mai bine dezvoltat.

Greutatea lanțurilor musculare rotatoare înăuntru și în afară reprezintă la membrele superioare o treime din greutatea întregii lor musculaturi, pe cînd la membrele inferioare reprezintă numai 1/20 din greutatea întregii musculaturi a acestora.

Grupele musculare ale membrelor inferioare au o suprafață de inserție mult mai mare decît cele ale membrelor superioare. Astfel, suprafața de inserție a fesierului mare este de 2—3 ori mai mare decît a deltoidului. De aceea, musculatura membrelor inferioare asigură în primul rînd stabilitatea, echilibrul, propulsia corpului și amortizarea, iar cea a membrelor superioare în primul rînd finețea, precizia și viteza mișcărilor.

FORȚELE EXTERNE

În realizarea mișcării forțelor interne li se adaugă o serie de forțe externe. Corpul sau segmentele lui în mișcare trebuie să învingă *greutatea* corpului sau a segmentelor respective,

forța gravitațională care tinde să atragă corpul la pămînt; *inerția, presiunea atmosferică, rezistența mediului* în care se face mișcarea, *forța de reacție a suprafeței de sprijin, forța de frecare,* și alte categorii de *rezistențe exterioare,* cum ar fi greutățile cu care se încarcă obiectul în mișcare.

FORȚA GRAVITAȚIONALĂ

Reprezintă cea mai importantă forță exterioară care acționează asupra mișcărilor. În fond, aproape toate celelalte forțe externe care intervin în decursul mișcărilor rezultă din forța gravitațională. În condiții normale, forța gravitațională atrage continuu spre sol corpul și segmentele lui, care nu scapă acțiunii legilor gravitației universale.

În tot cursul evoluției filogenetice a mișcărilor forța gravitațională a fost unul din factorii importanți care au contribuit la desăvîrșirea mișcărilor. S-ar putea afirma că *mișcarea este o formă răzvrătită a materiei vii față de gravitație, care tinde să imobilizeze corpurile la sol.*

Nu întîmplător apariția organismelor vii, mișcările elementare ale acestora s-au produs în mediul lichid. Conform *principiului lui Arhimede,* în acest mediu corpurile pierd o parte din greutate și astfel mișcările se realizează mai ușor. Transplantate pe uscat, în decursul evoluției lor filogenetice, organismele vii s-au tîrît mai întîi aproape de sol, au devenit apoi patrupede și abia mai tîrziu — bipede. Această înălțare de la sol, deci această înfrîngere parțială a gravitației, s-a desăvîrșit în decursul a sute de mii de ani.

Forța gravitațională acționează totdeauna vertical, de sus în jos. Împotriva ei forțele interne cumulate acționează exact în sens invers, de jos în sus. Forța superioară de mișcare care încearcă să învingă forța gravitațională este săritura. Înainte de a face săritura, corpul se adună, își concentrează forțele (predetenta). Învingerea forței gravitaționale chiar numai pentru cîteva clipe presupune un consum mare de energie. Numai în condițiile mișcărilor de imponderabilitate (pentru pregătirea cosmonauților sau în cosmos), acțiunea forței gravitaționale este anihilată și în acest caz contracția musculară se realizează cu o forță care ar putea fi denumită *forța absolută de contracție.* Cel mai mic impuls aruncă astfel corpul la distanțe foarte mari.

GREUTATEA CORPULUI
ȘI GREUTATEA SEGMENTELOR

Ca efecte ale gravitației, ele nu trebuie totuși confundate cu aceasta. Indiferent care ar fi poziția corpului, greutatea acționează întotdeauna vertical, de sus în jos asupra centrului de greutate al corpului sau segmentului. Valoarea acestei forțe externe este legată de volumul, lungimea, densitatea segmentului care se deplasează, sau de numărul segmentelor angajate în mișcare. Practic, se poate considera deci că valoarea cu care intervine această forță externă este legată de *masa* segmentului care se mișcă.

Masa=Volumul×Densitatea

Conform *legii maselor*, pentru o aceeași forță motrice, viteza mișcării este în raport indirect cu masa care se deplasează. Cu cît segmentul are un volum mai mic și este mai puțin dens, deci cu cît masa este mai mică, cu atît viteza de deplasare este mai mare, și cu cît segmentul are un volum mai mare și este mai dens, cu atît viteza lui de deplasare este mai mică.

PRESIUNEA ATMOSFERICĂ

Reprezintă, indirect, tot o forță de acțiune a forței gravitaționale. Ea apasă asupra corpului cu o intensitate variabilă în raport direct cu viteza de deplasare. În repaus, asupra corpului omenesc acționează o presiune atmosferică de peste 20 000 kg. Calculul se poate face înmulțind presiunea barometrică (P) cu densitatea mercurului (D) și cu suprafața corpului omenesc (S), care este de aproximativ 2 m^2.

$$F = P\ (\text{în cm}) \times D \times S\ (\text{în } cm^2)$$

deci :

$$F = 76 \times 13{,}6 \times 20\,000 = \mathit{20\,672\ kg}$$

Presiunea atmosferică joacă un rol deosebit de important în menținerea în contact a suprafețelor articulare. Exemplul clasic ni-l oferă articulația coxo-femurală, care are o suprafață (S) de 16 cm^2. Cum cavitatea articulară reprezintă un spațiu virtual și este vidă, presiunea atmosferică acționează asupra ei cu o valoare de 16,537 kg, deoarece :

$$76 \times 13{,}6 \times 16 = \mathit{16{,}537\ kg}$$

Greutatea membrului inferior la adultul mediu fiind de 9—10 kg, presiunea atmosferică poate menţine singură capul femural în cavitatea cotiloidă, chiar după secţionarea tuturor muşchilor periarticulari.

Acţiunea presiunii atmosferice asupra corpului este compensată de presiunea internă a marilor cavităţi, care are valori identice cu cele ale presiunii atmosferice. Interacţiunea dintre presiunea atmosferică externă şi presiunea internă a marilor cavităţi atrage şi modificări structurale ale corpului. Astfel, la nivelul sternului, cele două segmente superioare ale sale (manubriul şi corpul) se pliază unul pe altul şi formează un unghi proeminent în afară, *unghiul lui Louis*.

REZISTENŢA MEDIULUI

Exerciţiile fizice se pot practica fie în aer liber, fie în apă. Segmentele corpului omenesc sau corpul omenesc în întregime vor trebui să învingă rezistenţa opusă de acestea.

În calculul rezistenţei intră următorii factori:

$$R = K \times S \times V^2 \sin a$$

în care R=rezistenţa de învins, exprimată în kilograme; K=coeficientul de rezistenţă stabilit după forma corpurilor şi densitatea mediului; S=suprafaţa celei mai mari secţiuni a corpului care se deplasează în mediu, considerată în raport cu axa de progresie; V=viteza în metri pe secundă; sin a=sinusul unghiului de atac (a), adică al unghiului de înclinaţie pe orizontală.

Pentru un om care se deplasează în aer, K=0,079 (coeficientul rămîne valabil pînă la o viteză de 42 m/s), iar S=0,75 m². Să presupunem că omul merge la pas, cu o viteză de 1,5 m/s (deci 5,4 km/h) şi unghiul de înclinaţie a corpului pe orizontală este de 90° (deci a=90°; sin a=1). Calculul rezistenţei întîmpinate din partea aerului ne arată că:

$$R = 0{,}079 \times 0{,}75 \times 1{,}5^2 \times 1 = 0{,}133 \text{ kg}$$

Dacă omul are de înfruntat un vînt de 6 m/s (deci 21,6 km/h) el va fi dat înapoi:

$$R = 0{,}079 \times 0{,}75 \times 6^2 \times 1 = 2{,}133 \text{ kg}$$

iar dacă are de înfruntat un uragan de 40 m/s (deci 114 km/h), poate fi ridicat şi în aer. Pentru a face faţă acestor situaţii, omul

se apleacă înainte, micşorînd astfel unghiul de atac (a) şi valorile sin de a, şi deci ale rezistenţei de învins.

Pentru un înotător, valorile formulei calculului rezistenţei se schimbă. K=73 (pentru apa de mare), S este variabil, după stilurile adoptate şi corectitudinea execuţiei între 0,035 m^2 şi 0,14 m^2 ; la un bun înotător de craul, care parcurge 100 m în 60 s (în mare), K=73, S=0,035 (oferă deci o suprafaţă minimă), V=1,66 m/s, iar a=0 (corpul este întins pe orizontală). Deci :

$$R=73\times0{,}035\times1{,}66^2\times0=7{,}040 \text{ kg}$$

Dacă înotătorul nu deţine o tehnică corectă şi oferă o suprafaţă mai mare, să spunem 0,10 m^2, şi în plus luptă contra unui curent de 1,66 m/s pentru a rămîne pe loc, trebuie să învingă o rezistenţă de 20,155 kg :

$$R=73\times0{,}10\times1{,}66^2\times0=20{,}155 \text{ kg}$$

Concluzia practică ce se poate deduce din aceste calcule este aceea că rezistenţa mediului în care se practică exerciţiile fizice poate fi diminuată prin micşorarea suprafeţei de secţiune (valoarea S) şi a unghiului de atac (a).

INERŢIA

Este forţa care tinde să prelungească şi să susţină o situaţie dată. Datorită intervenţiei inerţiei, un corp aflat în repaus tinde să rămînă în repaus *(inerţia de imobilitate)*, iar un corp aflat în mişcare tinde să se deplaseze în continuare *(legea vitezei cîştigate)*.

În momentul începerii unei mişcări, forţele interioare trebuie să învingă inerţia de imobilitate şi, invers, în momentul terminării unei mişcări, forţele interioare trebuie să învingă inerţia de mişcare cîştigată.

FORŢA DE REACŢIE A SUPRAFEŢEI DE SPRIJIN

Cînd corpul se găseşte în aer, ca în plină săritură, forţele gravitaţionale acţionează în mod egal asupra tuturor segmentelor lui pe care le trage în jos ; dar cînd corpul se află susţinut pe o suprafaţă oarecare de sprijin, apare şi o forţă de reacţie egală şi de sens opus.

Cînd corpul este imobil apare o *forță de reacție statică* a suprafeței de sprijin, reacția statică (R_s) fiind egală cu greutatea statică a corpului (G_s) :

$$R_s = G_s$$

Cînd corpul se află în mișcare, la greutatea lui adăugîndu-se și forța de inerție, datorită intervenției accelerației se dezvoltă o *forță de reacție dinamică* a suprafeței de sprijin. În cazul în care subiectul se împinge în sus spre verticală, ca în sărituri, reacția dinamică (R_d) va fi egală cu greutatea statică a corpului (G_s) plus forța de inerție (F_i) :

$$R_d = G_s + F_i$$

În cazul în care subiectul se lasă în jos spre verticală, ca într-o mișcare de genuflexiune, reacția dinamică (R_d) va fi egală cu greutatea statică a corpului minus forța de inerție (F_i), deoarece accelerația se îndreaptă spre baza de sprijin :

$$R_d = G_s - F_i$$

FORȚA DE FRECARE

Într-o serie de exerciții fizice (schi, patinaj etc.) corpul alunecă pe suprafața de sprijin, ceea ce atrage apariția forței de frecare (F), care este proporțională cu greutatea corpului (G) și coeficientul de frecare (K) :

$$F = G \times K$$

Coeficientul de frecare (K) este variabil după caracteristicile de alunecare a suprafețelor aflate în contact. Astfel, pentru schiurile fără ceară, care alunecă pe zăpadă, K=0,06, dar pentru schiurile unse cu o ceară adecvată, K=0,02, deci este mult micșorat.

REZISTENȚELE EXTERNE DIVERSE

Reprezentate de toate obiectele asupra cărora intervine corpul omenesc (unelte de lucru, haltere, aparate, greutăți de transportat, obiecte ce se aruncă etc.) aceste forțe exterioare se aplică asupra corpului din direcțiile cele mai variate.

Toate forțele externe care intervin în executarea mișcărilor trebuie învinse de forțe interne. Acestea trebuie să fie

egale sau superioare ca intensitate și să acționeze în direcție identică, dar în sens invers cu forțele exterioare respective *(legea repartizării forțelor)*.

INFLUENȚA FORȚELOR EXTERNE ÎN PRACTICA SCHIULUI

Un demonstrativ exemplu al importantului rol pe care forțele exterioare îl au în realizarea exercițiilor fizice, este dat de practica schiului. Viteza de coborîre a schiorului este dependentă de următoarele forțe externe : *a*) înclinația pantei ; *b*) impulsurile verticale în trecerea denivelărilor de teren ; *c*) rezistența zăpezii și *d*) rezistența aerului*.

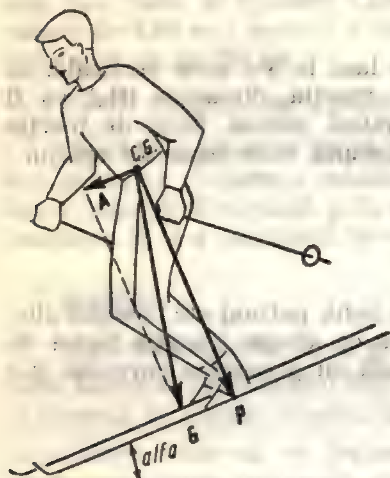


Fig. 61 — Descompunerea forțelor gravitaționale (G) în forțe de alunecare (A) și forțe de presiune (P).

Înclinația pantei. Condițiile specifice practicării schiului fac ca forța externă a reacției suprafeței de sprijin să capete caracteristici aparte, legate de înclinația pantei de alunecare. În aceste condiții, forța gravitațională de atracție asupra greutății corpului (G) se descompune conform paralelogramului forțelor în componenta de alunecare (A), paralelă cu înclinația pantei (alfa) și în componenta presiunii care acționează perpendicular asupra solului (P) (fig. 61).

Mărimea acestor două forțe poate fi calculată din formulele :

A=G. sin alfa
P=G. cos alfa

* Datele sînt luate după V. Teodorescu : „Curs de schi". București, Editura Didactică și Pedagogică, 1964.

Componenta de alunecare (A) crește pe măsură ce înclinația pantei (alfa) este mai mare, dar componenta presiunii (P) scade relativ puțin la un schior cu o greutate (G) de 70 kg ; mărimea celor două componente va fi următoarea :

Înclinația pantei	Forța de alunecare (A)	Forța de presiune (P)
10°	70×sin 10°=*12,16 kg*	70×cos 10°=68,9 kg
35°	70×sin 35°=*35 kg*	70×cos 35°=60,62 kg

Deci, în timp ce componenta de alunecare (A) crește cu aproape de trei ori, componenta presiunii (P) scade cu mai puțin de șapte ori.

Greutatea schiorului nu are decît o importanță relativă în obținerea forței de alunecare, deoarece cu cît greutatea este mai mare, cu atît suprafața de înaintare, ca și celelalte forțe de frînare se măresc.

Impulsurile verticale în trecerea denivelărilor de teren. Schimbările de înclinație ale pantei (movile, șanțuri etc.) transformă mișcarea schiorului într-o mișcare cu traiectorie circulară, în care apar ca forțe contrare și egale, forța centrifugă și forța centripetă, ultima fiind egală cu forța de reacție a suprafeței de sprijin.

Valoarea forței centrifuge (F_c) care rezultă în trecerea denivelărilor de teren poate fi determinată din formula :

$$F_c = \frac{mV^2}{r}$$

în care m=masa corpului schiorului ; V=viteza lui de deplasare (în metri/s) și r=raza curburii denivelării (în metri). Forța centrifugă este proporțională cu greutatea schiorului și cu pătratul vitezei și invers proporțională cu raza curburii denivelării.

Astfel pentru un schior cu o greutate de 70 kg, deci cu o masă$= \frac{G}{g} = \frac{70}{9,81} = 7$ kg, care coboară cu o viteză de 54 km/h, deci cu 15 m/s, și care trece printr-o racordare de pantă cu raza de 10 m :

$$F_c = \frac{7\times225}{10} = 157,50 \text{ kg}$$

Pentru acest motiv, în trecerea denivelărilor de teren schiorul simte o împovărare.

Rezistența zăpezii. Zăpada opune la înaintarea schiorilor o rezistență care poate fi descompusă în următoarele forțe componente : 1) frecarea zăpezii cu suprafața de alunecare a schiurilor ; 2) deplasarea valului de zăpadă în fața curburii vîrfului schiurilor ; 3) rezistența zăpezii presată de schiuri și 4) frecarea laterală a schiurilor și bocancilor.

Dintre aceste forțe componente, frecarea zăpezii cu suprafața de alunecare a schiurilor reprezintă aproximativ 90% din întreaga forță de rezistență a zăpezii, iar celelalte trei numai 10%.

Forța de frecare a zăpezii cu suprafața de alunecare a schiurilor (F) se poate calcula după formula :

$$F = G \cos alfa \times C$$

în care G = greutatea schiorului, alfa = unghiul de înclinare a pantei și C=coeficientul de frecare.

Coeficientul de frecare este dependent de numeroși factori, printre care cei mai importanți sînt starea zăpezii (grosime, temperatură, umiditate, forma și vechimea cristalelor etc.), mărimea schiurilor, uniformitatea presiunii exercitate asupra suprafeței de alunecare, calitatea intrinsecă a cerii și a tehnicii după care a fost întinsă, precum și viteza de alunecare.

În raport cu starea zăpezii, coeficientul de frecare poate fi considerat a fi următorul :

Starea zăpezii	Coeficient frecare (C)
Zăpadă înghețată și tare	0,03–0,06
Zăpadă bătătorită, sfărîmicioasă	0,06–0,1
Zăpadă lucioasă, adîncă, cu crustă sfărîmicioasă	0,11–0,2

În cazul unui schior cu o greutate de 70 kg, care coboară o pantă cu o înclinație de 30° în condițiile unui coeficient de frecare de 0,05, rezistența zăpezii va fi de :

$$R = 70 \times \cos 30 \times 0{,}05 = 60 \times 0{,}05 = 3 \text{ kg}$$

Rezistența aerului. Aerul opune la înaintare o forță de rezistență care este dependentă de : 1) coeficientul aerodinamic

al corpului schiorului (K) ; 2) suprafaţa cea mai mare a secţiunii frontale a corpului schiorului (S) ; 3) densitatea aerului măsurată în kg s^2/m^4 (d) şi 4) viteza de alunecare (V).

Coeficientul aerodinamic al corpului schiorului (K) rezultă din forma profilului acestuia, deci de forma secţiunii lui în planul sagital. Poziţia tipică de coborîre cu şoldurile, genunchii şi gleznele flectate, cu trunchiul aplecat înainte, spatele rotunjit, membrele superioare flectate înaintea pieptului şi mîinile la nivelul bărbiei transformă schiorul într-o formă compactă şi ovoidă favorabilă înaintării. Îmbrăcămintea trebuie să fie şi ea adecvată, cît mai netedă şi cît mai lipită de corp.

Coeficientul aerodinamic variază cu poziţia schiorului şi poate fi considerat ca variind astfel :

Poziţia	Coeficient aerodinamic (K)
Poziţia înaltă	0,75—0,80
Poziţia joasă	0,65—0,70
Poziţia de căutare a vitezei (a patinatorului)	0,55—0,65

Suprafaţa cea mai mare a secţiunii frontale a corpului schiorului (S) diferă şi ea după poziţia adoptată. Pentru un schior înalt de 1,70 m, cu o greutate de 70 kg, ea poate fi considerată ca variind astfel :

Poziţia	Suprafaţa pe o secţiune frontală (S)
Poziţia înaltă	0,50—0,60 m^2
Poziţia intermediară	0,40 m^2
Poziţia de viteză normală (a patinatorului)	0,30 m^2
Poziţia de viteză aerodinamică	0,27 m^2
Poziţia ghemuit la maximum	0,21 m^2

Densitatea de masă a aerului (d) depinde de presiunea şi de temperatura lui, variind deci cu altitudinea şi condiţiile climaterice. Pentru o altitudine între 1 000—2 000 m, se poate considera că are o valoare între 0,12—0,10 kg s^2/m^4.

Plecînd de la aceşti factori, la care se adaugă şi viteza de alunecare, rezistenţa aerului (R) poate fi calculată din următoarea formulă :

$$R=K.S.\frac{d \cdot V^2}{2}$$

Calculele efectuate cu ajutorul acestei formule au stabilit următoarele valori ale rezistenţei aerului :

Viteza	Rezistenţa aerului (R) în poziţiile		
	Înaltă	Intermediară	De căutare a vitezei
18 km/h	1,500 kg	1,200 kg	0,900 kg
36 km/h	6,750 kg	5,400 kg	4,050 kg
72 km/h	23,250 kg	18,600 kg	13,950 kg
90 km/h	36,700 kg	29,300 kg	22 kg
120 km/h	65 kg	52 kg	39 kg

La începutul alunecării pe pantă, datorită vitezei reduse de înaintare, rezistenţa aerului este neînsemnată. Continuarea alunecării face ca acceleraţia (g) să crească şi, ca o consecinţă proporţional cu pătratul vitezei creşte şi rezistenţa aerului la înaintare. De la un anumit moment, datorită creşterii rezistenţei aerului, acceleraţia începe să scadă şi ajunge pînă la zero, înaintarea schiorului devenind uniformă. Ecuaţia mişcării va fi:

$$A=P=R$$

în care A=forţa de alunecare, P=forţa de presiune asupra solului, iar R=rezistenţa aerului.

Înlocuind pe A şi P cu valorile lor (prezentate la rolul înclinaţiei pantei), se obţine :

$$G.\ \sin alfa=G.\ \cos alfa=K.S.\frac{d \cdot V^2}{2}$$

formulă din care se poate deduce formula pentru determinarea vitezei maxime de alunecare a schiorului pe o anumită pantă :

$$V\ maximă=\sqrt{\frac{2\ G\ (\sin alfa - G\ \cos alfa)}{K.d.s}}$$

Cum pantele prezintă însă numeroase variaţii de înclinaţie pentru a se face calculul vitezei maxime posibile se va con-

sidera că ele prezintă o înclinație medie și constantă. Pentru aceasta se vor lua în considerație lungimea pantei și diferența de nivel, raportîndu-se procentual ultima la prima. Astfel, pentru panta Pîrtia Lupului din Poiana Brașov, care măsoară aproximativ 3 000 m lungime și prezintă o diferență de nivel de 750 m, diferența de nivel reprezintă 25% din lungimea pîrtiei. În aceste condiții, viteza maximă posibilă este de 100 km/h, ceea ce teoretic, ar permite unui schior excepțional să o parcurgă în 1'49"5/10.

INFLUENȚA FORȚELOR EXTERNE ÎN PRACTICA AVIAȚIEI

Un alt exemplu încă și mai demonstrativ al efectelor forțelor exterioare asupra corpului omenesc în mișcare, este dat de practica aviației, mai ales cu avioanele cu reacție. Ne vom referi numai la trei aspecte mai importante :

a) modificarea ritmului biologic,

b) scăderea presiunii atmosferice,

c) intervenția forțelor de accelerație.

Modificarea ritmului biologic. În decursul activității obișnuite pe sol, organismul omenesc se adaptează unui anumit ritm legat de succesiunile regulate dintre zi și noapte. Zborurile pe distanțe lungi atrag o tulburare mai mult sau mai puțin gravă a acestui ritm.

Durata de somn a personalului navigant se modifică substanțial în cursul unui zbor intercontinental. La ducere se ajunge la perioade de somn de 34% din durata normală de somn din țara de baștină, iar la înapoiere se doarme numai 28% în prima noapte, 27% în a doua noapte și 25% în a treia noapte. Pentru aceste motive, 20% din personalul navigant folosesc somnifere sau deconectante, 15% ajung să prezinte tulburări dispeptice, 9% diaree și 29% constipație (*Lavernhe* — 1970).

Apar de asemenea și o altă serie de tulburări vegetative, cum ar fi modificarea temperaturii rectale, a ritmului cardiac, a ritmului respirator și a sudației palmare. Normalizarea acestora se realizează după un număr oarecare de zile, în raport cu direcția în care s-a efectuat zborul. După un zbor de la E spre V, în care ziua se lungește cu 10 ore, revenirea la normal a temperaturii rectale, a ritmului cardiac și a ritmului respirator durează 4 zile, iar revenirea la normal a sudației palmare, du-

rează aproximativ 8 zile. După un zbor de la V la E, în care ziua se scurtează cu 7 ore, tulburările sînt mai accentuate, temperatura rectală revine la normal după 4—6 zile, iar ritmul cardiac după 6—8 zile.

În zborurile de la N spre S sau invers, aceste tulburări nu sînt aşa accentuate şi atunci cînd apar, ele nu se datoresc nerespectării timpului biologic, ci schimburilor bruşte de zone climaterice.

Toate aceste modificări impun deci, pentru securitatea zborului, perioade de repaus obligatoriu. *Buley* (1970) a propus o interesantă formulă pentru stabilirea duratei de repaus obligatoriu.

Ziua fiind împărţită în zecimi (R.P.), formula ţine cont de suma orelor de zbor (t), numărul zonelor de timp depăşite (Z), coeficientul orei de plecare (Kab) şi coeficientul orei de sosire (Kan). Coeficientul orei de plecare (Kab) şi al celei de sosire (Kan) se consideră a fi :

Ora de plecare	Ora de sosire	Kab	Kan
(Timp local)			
08,00	—11,59 h	0	4
12,00	—17,59 h	1	2
18,00	—21,59 h	3	0
22,00	—00,59 h	4	1
01,00	—07,59 h	3	3

Formula propusă de Buley este următoarea :

$$RP=\frac{t}{2}+(Z-4)+Kab+Kan$$

Conform acestei formule un pasager care pleacă din Europa Centrală către S.U.A., la ora 14 după ora Europei Centrale (Kab=1) şi aterizează în S.U.A. la ora 21, ora locală (Kan = 0), după 12 ore de zbor (t = 12) şi după ce a depăşit două zone de timp (Z=2) are nevoie de următorul timp de odihnă, pentru a-şi reveni la normal :

$$RP=\frac{12}{6}+(2-4)+1+0=2+0,50+1+0=3,50.$$

Deci are nevoie de aproximativ 5/10 părţi de somn din zi, adică de 12 ore. Cu atît mai mult, personalul navigant, de care depinde securitatea zborului, trebuie să respecte această indicaţie.

Scăderea presiunii atmosferice. Odată cu înălţimea, scade după cum bine se ştie şi presiunea atmosferică. Faţă de presiunea iniţială, la 5000 m înălţime ea scade la jumătate, la 10 500 m la un sfert şi la 15 000 m la a zecea parte. Presiunea gazelor intracavitare ale organismului creşte în schimb în raport invers, ceea ce atrage o serie de tulburări. Destinderea gazelor stomacale şi intestinale atrage după ea dureri abdominale ce pot duce pînă la colaps. Cum destinderea se realizează în special proximal, funcţiile respiratorie şi cardio-vasculară vor fi şi ele tulburate (simptomul complex gastro-cardiac). De aceea înainte de zbor este contraindicată ingerarea de alimente care produc gaze şi de băuturi ce conţin acid carbonic.

La bolnavii suferinzi de rinite, se produce o destindere a gazelor din trompa lui Eustache, caracterizată prin dureri puternice în urechea mijlocie şi uneori soldată chiar cu ruperea trompei. Şi la nivelul cariilor prost tratate, în care s-au păstrat resturi de aer, pot apare dureri atroce (Aerodontalgia).

La înălţimi de peste 7000 m, sîngele şi umorile corpului încep să-şi piardă gazele (O_2 şi N) care apar sub formă de bule în interiorul organelor interne. Bulele de oxigen se resorb rapid, dar cele de N se menţin şi produc în special în vecinătatea articulaţiilor embolii gazoase. Apariţia emboliilor gazoase atrage tulburări grave, pierderea cunoştinţei, paralizii (cînd emboliile se produc în substanţa cerebrală sau a măduvei spinării) şi chiar moartea (fig. 62).

Intervenţia forţelor de acceleraţie. Mai ales în timpul zborurilor curbe, a figurilor artistice şi a redresărilor din picaj, asupra avionului şi a corpului omenesc intervin importante forţe de acceleraţie pozitive sau negative, (g-forţe), care pot activa fie liniar, fie radiar, fie unghiular (fig. 63). Timpul de acţiune a acestor forţe variază între 3—10 s şi efectele lor sînt legate de intensitatea, natura şi direcţia forţelor. Cu cît timpul de acţiune este mai scurt, cu atît organismul tolerează mai bine forţele de acceleraţie.

Volumul, greutatea şi poziţia corpului aviatorului au un rol important. Astfel în poziţia stînd, g-forţa acţionează mai puternic decît în poziţia şezînd (fig. 63).

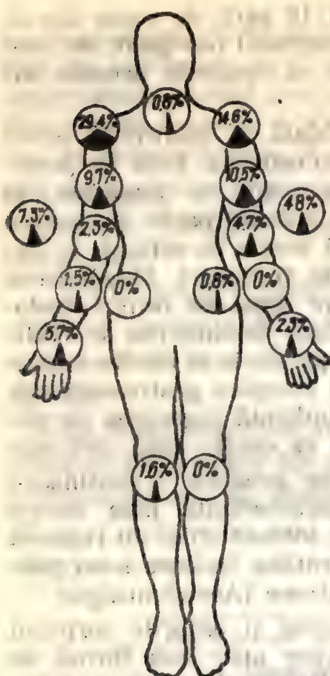


Fig. 62 — Localizarea procentuală a emboliilor gazoase datorită eliberării de azot la 12 000 m înălţime (după Becker-Freysang, modificat de S. Krefft).

ACCELERAŢIE LINEARĂ
g(-g) Negativ
g(tg) Transversal
g(tg) Transvers
g(+g) Pozitiv
ACCELERAŢIE RADIARĂ
Forţa centripetă
Forţa centrifugă
ACCELERAŢIE UNGHIULARĂ

Fig. 63 — Natura şi direcţia g-forţelor care acţionează asupra corpului omenesc în timpul zborului.

Direcţia de acţiune influenţează diferit. Cînd avionul descrie o curbă cu concavitatea în sus (fig. 64 a, b şi c) se realizează o g-forţă pozitivă, pe direcţia cap-picioare. La începutul curbei, sîngele se îndreaptă spre picioare. La mijlocul ei insuficienţa de circulaţie cerebrală este manifestă, iar la sfîrşitul curbei se instalează anemia cerebrală.

Cînd avionul descrie o curbă cu concavitatea în jos (fig. 64 a_1, b_1 şi c_1) se realizează o g-forţă negativă pe direcţia picioare-cap. La începutul curbei sîngele începe să se îndrepte spre

cap și la sfîrșitul curbei presiunea sanguină intracraniană atinge maximum.

Redăm un tablou, prezentat de *Krefft* (1974) din care rezultă efectele pe care g-forțele de diferite tipuri le au asupra organismului zburătorului în raport cu intensitatea de acțiune a acestei forțe :

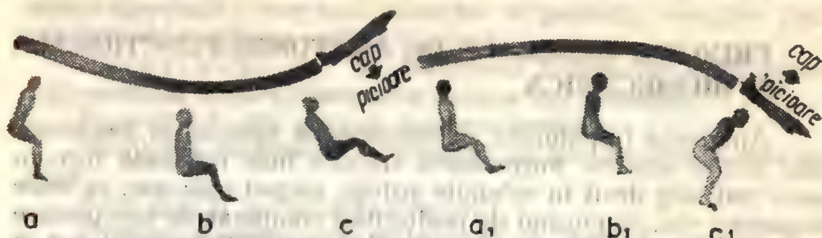


Fig. 64 — Efectele g-forțelor pozitive (a, b, c) și a g-forțelor negative (a_1, b_1, c_1).

Intensitate	g — forță pozitivă	g — forță negativă	g — forța antero-posterioară
1 g	Fără acțiune	Ușoară presiune intracraniană	Fără acțiune
2 g	Îngreuiere Apăsare pe scaun	Presiune intracraniană și intraoculară	
3 g	Țintuire pe scaun Greutate în mișcarea brațelor		
3— 4 g	Accentuarea îngreuierii membrelor Tulburări de vedere Întunecarea vederii („Grey out") Limitarea văzului periferic	Cefalee persistente Senzație de îngreuiere Pierderea controlului Tulburări de vedere, vede roșu („Red out") Pierderea cunoștinței	
4— 5 g	Pierderea vederii („Black out") Pierderea controlului		
5— 6 g	Acumulare sînge în membrele inferioare		
7 g	Crampe în pulpe Paloarea obrajilor		
7— 8 g	Pierderea cunoștinței		Respirație dificilă
8—12 g			Respirație și mai dificilă Apăsare pe piept

Din acest tablou rezultă modul progresiv în care activează g-forţele precum şi faptul că g-forţa antero-posterioară (care activează pe direcţia piept-spate) este cea mai uşor de suportat de organism, putînd ajunge pînă la valori de 17 g, fără a produce tulburări grave. De aceea astronauţii la plecarea rachetelor, se aşază în poziţia culcat pe spate.

PRINCIPII GENERALE DE ANATOMIE FUNCŢIONALĂ ŞI BIOMECANICĂ

Anatomia funcţională şi biomecanica aparatului locomotor sînt ştiinţe exacte. Formularea trebuie însă înţeleasă într-un sens mai larg decît în celelalte ştiinţe, corpul omenesc, ca orice organism viu, dispunînd de posibilităţi complexe de comportare biomecanică şi adaptare funcţională, posibilităţi ce nu pot fi integral interpretate matematic. Totuşi, pentru studiul anatomo-funcţional şi biomecanic al diverselor mişcări care nu au putut fi cuprinse în lucrarea de faţă, sînt indispensabile unele jaloane cu aplicativitate mai largă, deci unele precizări cu caracter mai general, care pot fi ridicate, convenţional, la rangul de „principii generale". Enunţarea acestora va uşura munca celor interesaţi să studieze diversele mişcări din punct de vedere anatomo-funcţional şi biomecanic.

P r i n c i p i u l n r. 1. *Orice mişcare începe prin stabilizarea în poziţie favorabilă sau mobilizarea centrului de greutate principal al corpului.*

Exemplul I : lovirea cu pumnul.

Pentru a se putea realiza această mişcare, centrul de greutate se stabilizează prin intrarea în acţiune a centurii musculare a trunchiului din imediata apropiere a centrului principal de greutate al corpului.

Exemplul II : pornirea din ortostatism în mers.

Pentru a se putea învinge inerţia statică şi a se face primul pas, centrul de greutate este mobilizat pe direcţia de deplasare. Trunchiul este aplecat înainte prin intervenţia psoasului-iliac şi a muşchilor abdominali. Celelalte mişcări prin care se realizează mersul încep numai după ce proiecţia centrului de greutate deplasat înainte a depăşit baza de susţinere.

P r i n c i p i u l n r. 2. *Pornind de la centura musculară a centrului de greutate, acţiunea mobilizatoare a segmentelor se realizează sub forma unei pete de ulei de la centru spre periferie.*

Exemplu : din stînd, ridicarea braţelor lateral.

Lanţurile musculare intră în acţiune în următoarea ordine : centura musculară a trunchiului stabilizează centrul de greutate : muşchii centurii scapulare stabilizează centura la trunchi şi încep să o ridice ; muşchii abductori ai braţului abduc braţul ; muşchii extensori ai antebraţului menţin antebraţul extins ; muşchii extensori ai mîinii şi degetelor menţin mîna şi degetele extinse ; muşchii lombricali şi interosoşi menţin degetele apropiate ; muşchiul adductor al policelui menţine policele lipit de marginea radială a mîinii.

Principiul nr. 3. Membrele superioare şi inferioare acţionează ca lanţuri cinematice închise sau deschise.

Exemplul I : din atîrnat, îndoirea braţelor.

Membrele superioare acţionează ca lanţuri cinematice închise.

Exemplul II : aruncarea greutăţii.

Membrele superioare acţionează ca lanţuri deschise.

Principiul nr. 4. Cînd membrele superioare sau inferioare acţionează ca lanţuri cinematice deschise, muşchii care intră în acţiune îşi iau puncte fixe de inserţie pe capetele lor centrale şi acţionează asupra segmentelor prin capetele lor periferice.

Exemplu : din stînd, ridicarea braţelor oblic în sus.

Muşchii centurii scapulare îşi iau punct fix pe coloană şi trag centura înainte şi în sus ; muşchii abductori ai braţului iau punct fix pe centura scapulară şi duc braţele în abducţie ; muşchii extensori ai antebraţului iau punct fix pe braţ şi menţin antebraţul în extensie ; muşchii extensori ai mîinii şi ai degetelor iau punct fix pe antebraţ şi menţin extensia acestor ultime segmente.

Principiul nr. 5. Cînd un membru superior sau inferior acţionează ca un lanţ cinematic închis, deci prin extremitatea lui periferică se află sprijinit sau fixat pe o bază oarecare de susţinere, muşchii care intră în acţiune îşi iau punct fix pe capetele lor periferice şi acţionează asupra segmentelor prin capetele lor centrale.

Exemplu : din stînd, îndoirea genunchilor.

Muşchii extensori ai piciorului pe gambă (tricepsul sural în special) îşi iau punct fix pe picior pentru a nu lăsa gamba să se prăbuşească pe picior ; extensorii gambei pe coapsă (cvadricepsul în special) îşi iau punct fix pe gambă pentru a nu lăsa coapsa să se prăbuşească pe gambă ; extensorii coapsei pe bazin (ischio-gambierii în special) îşi iau punct fix pe gambă pentru a nu lăsa bazinul să se prăbuşească pe coapsă.

P r i n c i p i u l n r. 6. Cînd membrele acționează ca lanțuri cinematice deschise, grupele musculare agoniste se contractă izotonic și mișcarea rezultă prin apropierea capetelor musculare de inserție.

Exemplu : lovirea mingii cu piciorul.

Exercițiul rezultă din următoarele mișcări concomitente : flexia coapsei pe bazin, extensia gambei pe coapsă și flexia dorsală a piciorului. Grupele musculare agoniste iau punct fix pe capetele lor centrale și se contractă izotonic, apropiindu-și capetele de inserție.

P r i n c i p i u l n r. 7. Cînd membrele acționează ca lanțuri cinematice închise, grupele musculare agoniste se contractă izotonic sau izometric, succesiv sau sub ambele forme.

Exemplu de contracție izotonică : din poziția atîrnat, îndoirea brațelor.

Exercițiul rezultă din următoarele mișcări concomitente : flexia brațelor pe antebraț și adducția brațelor. Grupele musculare agoniste iau punct fix pe capetele lor periferice și se contractă izotonic, apropiindu-și capetele de inserție.

Exemplu de contracție izometrică : din atîrnat cu brațele îndoite, întinderea brațelor.

Exercițiul rezultă din următoarele mișcări concomitente : extensia brațelor pe antebrațe și abducția brațelor. Grupele musculare agoniste iau punct fix pe capetele lor periferice și se contractă izometric, depărtîndu-și capetele de inserție.

Exemplu de contracție succesivă : în alergarea de viteză, atacul solului cu piciorul, apoi extensia piciorului (flexia plantară) pe gambă.

În atacul solului antepiciorul ia contact cu solul și tricepsul sural, contractîndu-se izometric, controlează apropierea călcîiului de sol. În faza următoare de extensie a piciorului pe gambă, antepiciorul continuă să fie sprijinit pe sol, dar tricepsul sural se contractă izotonic, apropiindu-și capetele de inserție pentru a fi posibilă extensia (flexia plantară), deci propulsia corpului înainte.

P r i n c i p i u l n r. 8. Executarea unei mișcări este posibilă datorită intervenției concomitente și contrarii a mușchilor agoniști și antagoniști. Cînd agoniștii se contractă izotonic, antagoniștii se contractă izometric, și invers cînd agoniștii se contractă izotonic. Viteza de execuție a mișcărilor este dependentă de raportul invers proporțional dintre intensitatea de acțiune a agoniștilor și antagoniștilor.

Exemplu : din stînd cu brațele lateral, cu palmele în sus, îndoirea coatelor la 90°.

Pentru realizarea exercițiului intervin ca agoniști mușchii flexori ai antebrațului pe braț (în special brahialul anterior și bicepsul brahial), care se contractă izotonic. Concomitent intervin însă și mușchii antagoniști, deci extensorii antebrațului pe braț (în special tricepsul brahial și anconeul), care se contractă izometric. În lipsa acțiunii antagoniștilor, mișcarea s-ar executa necoordonat și brusc.

Pentru realizarea rapidă a exercițiului, flexorii se contractă puternic, iar extensorii cu o intensitate mai scăzută. Pentru realizarea înceată a mișcării, flexorii se contractă mai puțin intens, iar extensorii opun o rezistență mai mare. Cu cît viteza de execuție este mai mare, deci intervenția agoniștilor este mai mare, cu atît intervenția antagoniștilor pe parcursul amplitudinii de mișcare este mai mică.

P r i n c i p i u l n r. 9. *La sfîrșitul mișcării, mușchii antagoniști se transformă în mușchi neutralizatori. Cu cît viteza de execuție este mai mare, cu atît intervenția antagoniștilor la sfîrșitul mișcării este mai intensă.*

Exemplu : ca la principiul nr. 8.

Cînd cotul ajunge la o flexie de 90°, mușchii extensori intensificîndu-și acțiunea opresc excursia antebrațului în această poziție.

P r i n c i p i u l n r. 10. *Menținerea poziției se realizează prin echilibrarea intensității de acțiune a agoniștilor și antagoniștilor și intrarea tuturor lanțurilor musculare în condiții de travaliu static.*

Exemplu : ca la principiile 8 și 9.

Antebrațul, ajuns în poziția de flexie la 90° pe braț, este menținut la verticală prin echilibrarea intensității de acțiune a flexorilor și extensorilor antebrațului pe braț.

P r i n c i p i u l n r. 11. *Folosirea acțiunii forțelor externe (și în special a forțelor gravitaționale) inversează rolul grupelor musculare.*

Exemplu : din stînd, îndoirea genunchilor.

Exercițiul se realizează din următoarele mișcări concomitente : flexia gambelor pe picioare, flexia coapselor pe gambe și flexia bazinului pe coapse. Am fi tentați să credem că exercițiul se realizează prin intrarea în acțiune a lanțului triplei flexii a membrelor inferioare. În realitate însă, exercițiul este controlat și gradat de lanțul triplei extensii, deci de extensorii piciorului pe gambă, ai gambei pe coapsă și ai coapsei pe bazin.

Toţi aceşti muşchi se contractă izometric şi nu lasă segmentele membrelor inferioare să se prăbuşească unele pe celelalte sub influenţa forţelor gravitaţionale. Deşi este vorba de o mişcare de triplă flexie, agoniştii sînt deci reprezentaţi de grupele musculare ale lanţului triplei extensii, iar flexorii devin antagonişti.

Principiul nr. 12. *În unele situaţii, folosirea forţelor externe (şi în special a forţelor gravitaţionale) inversează rolul grupelor musculare numai după ce acestea au declanşat mişcarea.*

Exemplul I : din poziţia stînd, aplecarea trunchiului înainte.

Mişcarea este iniţiată de muşchii abdominali şi de flexorii coapsei pe bazin, care acţionează ca agonişti. Muşchii şanţurilor vertebrale şi extensorii coapsei pe bazin acţionează ca antagonişti în această fază a exerciţiului. După ce trunchiul a părăsit poziţia de echilibru, el tinde sub acţiunea forţelor gravitaţionale să se prăbuşească înainte. Pentru ca mişcarea să se poată executa coordonat, controlul ei este preluat de muşchii şanţurilor vertebrale şi de extensorii coapsei pe bazin. Deşi este vorba de o mişcare de flexie a trunchiului, după ce aceasta a fost iniţiată de muşchii flexori, care s-au contractat izotonic, ea este continuată şi controlată de extensori, care se contractă izometric.

Exemplul II : din stînd, aplecarea trunchiului înapoi.

Mecanismul este exact invers, mişcarea fiind iniţiată de extensorii care se contractă izotonic şi apoi continuată de muşchii abdominali şi de psoas-iliaci, care se contractă izometric.

Principiul nr. 13. *În cadrul acţiunilor lanţurilor cinematice închise, pîrghiile osteo-articulare acţionează, în general, ca pîrghii de sprijin, deci ca pîrghii de gradul I.*

Exemplu : comportarea pîrghiei articulaţiei cotului în poziţia stînd pe mîini.

Forţa, reprezentată de inserţia olecraniană a tricepsului brahial, se găseşte în afară. Sprijinul, reprezentat de contactul dintre extremităţile articulare humerale şi radio-cubitale, se găseşte la mijloc. Rezistenţa, reprezentată de proiecţia centrului de greutate, cade la interior. Deci, F.S.R., pîrghie de gradul I.

Principiul nr. 14. *În cadrul acţiunilor lanţurilor cinematice deschise, pîrghiile osteo-articulare acţionează, în general, ca pîrghii de viteză, deci ca pîrghii de gradul III.*

Exemplu : comportarea aceleeaşi pîrghii a articulaţiei cotului la aruncarea greutăţii.

Prin flectarea excesivă a cotului, forța, reprezentată de inserția olecraniană a tricepsului brahial, este plasată între punctul de sprijin osos humero-cubito-radial și între rezistență, reprezentată de greutatea de aruncat și greutatea proprie a antebrațului și mîinii. Deci, S.F.R., pîrghie de gradul III.

Principiul nr. 15. Perfecționarea se atinge prin realizarea mișcărilor cu maximum de eficiență, folosindu-se la minimum forțele interne și la maximum forțele externe. Astfel, interpretată, perfecționarea exercițiilor fizice apare ca o formă superioară de adaptare a organismului omenesc la mediu.

Exemplul I : în alergare, pendularea înainte a gambei membrului inferior anterior.

Deși mișcarea reprezintă o extensie incompletă a gambei pe coapsă, ea nu se realizează prin intrarea în contracție izotonică a mușchilor extensori, ci prin inerție (ca un pendul), deci prin folosirea unei forțe externe. Grupele musculare care intervin sînt reprezentate de mușchii flexori ai gambei pe coapsă, respectiv de mușchii ischio-gambieri, care la sfîrșitul mișcării se contractă izometric, oprind pendularea gambei.

Exemplul II : aruncarea mingii la handbal.

Pentru ca forța cu care mingea este trasă la poartă să fie cît mai mare este folosită și traiectoria centrului de greutate a corpului.

Exemplul III : aruncarea discului sau a ciocanului.

Forța externă folosită la maximum în aceste exerciții este forța centrifugă. Bineînțeles că utilizarea la maximum a forțelor externe presupune o coroborare perfectă a acestora cu forțele motorii interne și se bazează, în ultimă instanță, pe un grad înalt de dezvoltare a proceselor de coordonare. Avînd continuu în minte aceste „principii", orice antrenor, profesor de educație fizică sau specialist în ergometrie cu un oarecare bagaj de cunoștințe de anatomie funcțională și biomecanică poate trece la studiul diverselor mișcări care-l interesează, în scopul perfecționării lor.

DETERMINAREA CLINICĂ A CAPACITĂȚII FUNCȚIONALE DE MIȘCARE

Un capitol deosebit de important, mai ales pentru cultura fizică medicală și ergometrie, este acela al posibilităților clinice și practice de care dispunem pentru a determina capacitatea funcțională de mișcare.

DINAMOMETRIA

Reprezintă măsurarea cu ajutorul dinamometrului medical. (fig. 65). Ea nu se poate face decît pe grupe mari musculare ; este greoaie, pretinde cîte un aparat special pentru fiecare grupă, nu este exactă şi este condiţionată de tăria

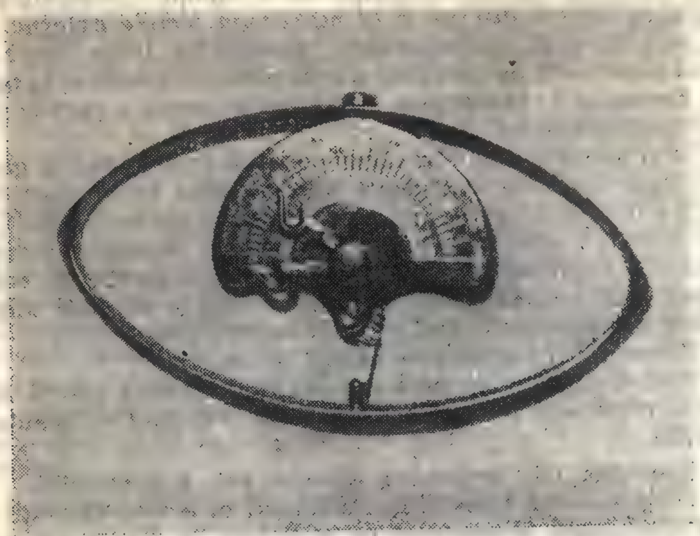


Fig. 65 — Dinamometrul medical.

schimbătoare a arcului metalic. În plus, este aproape imposibil de aplicat acest fel de măsurare la copiii mici ; rămîne însă utilă în determinarea forţei de prehensiune.

GONIOMETRIA ARTICULARĂ

Determinarea amplitudinii articulare de mişcare reprezintă un mijloc elementar de studiere a exerciţiilor fizice normale. Amplitudinea articulară reprezintă, de asemenea, un semn obiectiv de o reală importanţă în examinarea deficienţelor motorii, atît pentru aprecierea stării prezente, cît şi pentru urmărirea ştiinţifică a rezultatelor terapeutice, a ritmului şi a duratei de recuperare. În laboratoarele de anatomie funcţională şi biomecanică se folosesc aparate complexe adaptate fiecărei articulaţii în parte şi chiar fiecărei mişcări în parte, dar în

practica de toate zilele se folosesc numai unele aparate simple, care fac ca goniometria să fie comodă şi la îndemîna oricui şi poartă denumirea de *goniometre medicale*.

Pentru a se putea executa corect o goniometrie clinică, trebuie pornit de la următoarele considerente de ordin general :

1. Mobilitatea articulară se determină ţinîndu-se seama de tipul funcţional al articulaţiei respective şi de numărul gradelor de libertate de care dispune aceasta. Articulaţiile plane (artrodiile) şi articulaţiile cilindroide (trohleene şi trohoide) au un singur grad de libertate. Articulaţiile elipsoide (condiliene) şi articulaţiile selare au două grade de libertate, iar articulaţiile sferoidale (enartrozele) au trei grade de libertate de mişcare.

2. Fiecare grad de libertate presupune o axă biomecanică proprie, în jurul căreia se realizează mişcarea. Axele biomecanice sînt plasate în puncte bine determinate, puncte ce trebuie reperate pe harta topografică a regiunii respective.

3. Amplitudinea mişcării se determină plecîndu-se de la *poziţia anatomică* a segmentului respectiv (picioarele la unghi drept pe gambe, gambele, coapsele, trunchiul şi capul în linie dreaptă, membrele inferioare apropiate, membrele superioare apropiate de trunchi, cu mîna şi degetele extinse, cu palmele privind înainte). Poziţia anatomică a segmentului respectiv ia numele de *poziţia zero* sau de *poziţia de start* (vezi fig. 1).

4. Mişcarea (pasivă sau activă) se efectuează pe un arc de cerc, centrul cercului fiind însăşi axa biomecanică a mişcării. Punctul final în care segmentul s-a deplasat pe arcul de cerc ia numele de *poziţie finală*.

5. Mişcarea (pasivă sau activă) care se efectuează între poziţia de start şi poziţia finală are o anumită amplitudine considerată normală, prin raportare la mediile rezultate din determinări pe loturi mari de indivizi. Amplitudinile medii normale de mişcare trebuie avute ca repere, fără a se neglija însă faptul că ele variază în raport cu vîrsta, cu sexul şi cu starea de antrenament a indivizilor.

Pentru a efectua goniometria clinică avem nevoie de următoarele instrumente :

1) goniometre (raportoare) medicale de mai multe dimensiuni (cel puţin unul mare pentru articulaţiile mari şi unul mic pentru articulaţiile mîinii) ;

2) un creion dermatografic pentru însemnarea axelor biomecanice ;

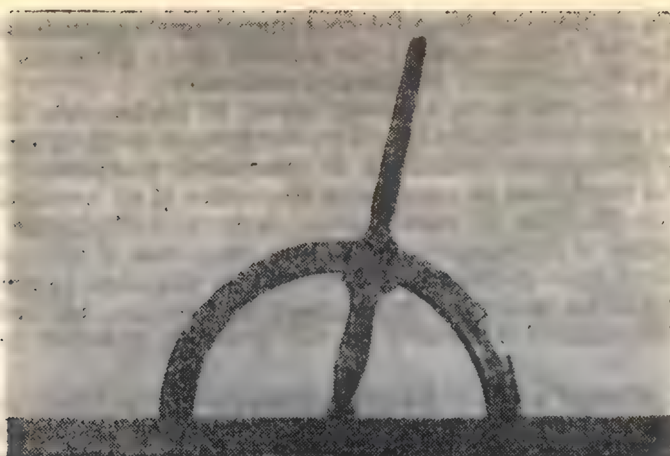


Fig. 66 — Goniometrul medical clasic.

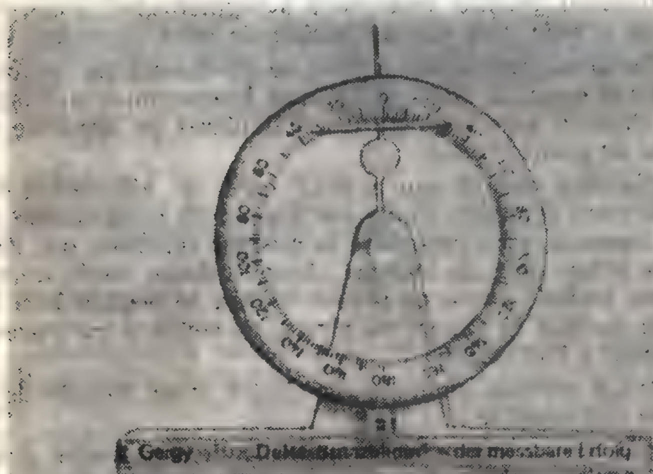


Fig. 67 — Hidrogoniometrul Geigy.

3) o masă de consultaţie, cu plan dur, pe care bolnavul să poată fi întins, pentru examenul şoldului, genunchiului, coloanei vertebrale etc. ;

4) o măsuţă obişnuită şi un scaun pentru examenul cotului, antebraţului, gîtului mîinii şi mîinii ;

5) o sticluţă cu benzină şi vată pentru şters urmele creionului dermatografic, după efectuarea goniometriei.

Goniometrul medical clasic are forma unui semicerc (fig. 66). Prezintă o bază dreaptă, un semicerc gradat de la 0° la 180° şi un indicator care se roteşte în jurul unui ax plasat în mijlocul bazei, indicînd pe semicercul gradat amplitudinea de mişcare. În afara goniometrului clasic s-a imaginat şi un mare număr de alte tipuri de goniometre, dintre care reţinem, pentru uşurinţa cu care poate fi folosit şi exactitatea lui, hidrogoniometru tip GEIGY (fig. 67), reprezentat de un flotor care se deplasează într-o capsulă rotundă plină cu lichid şi prevăzută cu cadran gradat.

Dezavantajul principal al goniometrului medical este acela că el determină amplitudinea mişcării într-un singur plan, în timp ce mişcările articulare sînt combinate şi se efectuează concomitent în mai multe planuri. Dacă pentru genunchi — de exemplu, unde mişcarea de flexie se însoţeşte şi de o uşoară mişcare de rotaţie internă, iar mişcarea de extensie şi de o uşoară mişcare de rotaţie externă a gambei, acest dezavantaj poate fi trecut cu vederea, pentru alte segmente neglijarea rezultantei mişcărilor combinate în mai multe planuri nu este posibilă. Astfel, pentru picior, care prezintă mişcările de inversiune-eversiune, s-au imaginat o serie de goniometre speciale, cum ar fi aparatul lui GUTSCH, pentru măsurarea simultană a amplitudinii de mişcare în trei direcţii (fig. 68).

Pentru determinarea amplitudinii articulare se aşază subiectul în poziţie anatomică şi goniometrică 0, astfel ca arcul de cerc pe care se execută mişcarea să fie liber. Se reperează axa biomecanică a mişcării şi se notează cu o cruce pe tegumente, cu ajutorul creionului dermatografic.

Goniometrul se aşază în acelaşi plan cu planul mişcării, cu baza paralelă cu axa longitudinală a segmentului care realizează mişcarea şi cu semicercul gradat îndreptat spre direcţia de mişcare. Axul în jurul căruia se mişcă indicatorul se plasează exact în dreptul axei biomecanice a mişcării, indicatorul suprapunîndu-se axei lungi a segmentului care realizează mişcarea (fig. 69). Odată cu segmentul care se mişcă se deplasează şi indicatorul, notîndu-se gradele de la care se începe mişcarea şi

gradele la care se termină mişcarea, calculîndu-se apoi amplitudinea mişcării. Se va nota astfel, nu numai amplitudinea mişcării, ci şi poziţia arcului de cerc pe care se execută aceasta. De exemplu : flexia activă a genunchiului se realizează în mod normal de la poziţia 0 pînă la 135°, pe arcul de cerc 0—135°, iar flexia pasivă de la poziţia 0 pînă la 150°. Diferenţa dintre

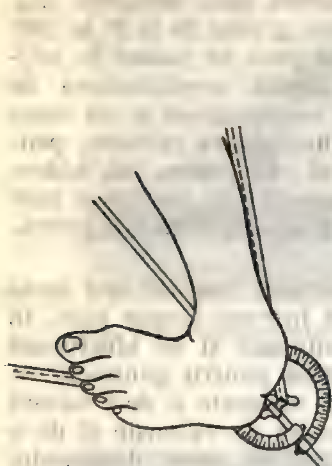


Fig. 68 — Aparat de măsurat mişcările combinate ale piciorului în trei planuri.

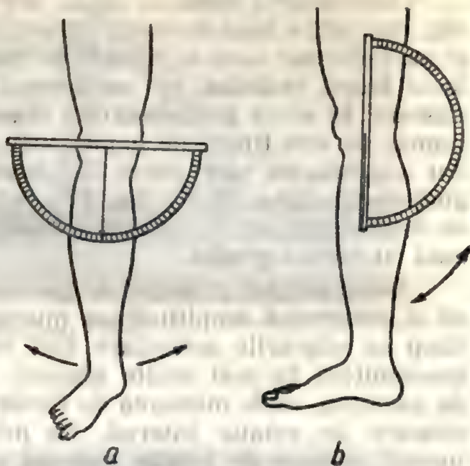


Fig. 69 — Determinarea amplitudinii articulaţiei genunchiului cu ajutorul goniometrului :

a — pentru mişcarea de lateralitate, b — pentru mişcarea de flexie-extensie.

mobilitatea pasivă şi cea activă este de 15°. Mişcarea de extensie se suprapune, în mod normal, ca amplitudine totală, în arc de cerc şi diferenţa dintre mobilitatea pasivă şi cea activă, mişcării de flexie. Amplitudinea de mişcare, pe o aceeaşi direcţie, este în mod normal aceeaşi, în ambele sensuri ale mişcării. Notaţia finală se va face astfel :

$$\text{Flexia şi extensia genunchiului} \left\{ \begin{matrix} \text{activă}=135° & (0-135°) \\ \text{pasivă}=150° & (0-150°) \end{matrix} \right\} 15°$$

Notaţia cuprinde trei tipuri de valori : 1 — amplitudinile totale (active şi pasive) ; 2 — poziţia arcului de cerc pe care ele se realizează şi 3 — diferenţa dintre amplitudinea activă şi cea pasivă.

Primele tipuri de valori referitoare la amplitudinile totale, comparate cu valorile medii considerate normale, pun în evidență existența fie a unei mobilități articulare normale, fie a unei hipermobilități articulare (clownism congenital, sindrom *Echlesdanlos*, sechele poliomielită, paralizii de diferite etiopatogenii, articulații balante post-traumatice etc.), fie a unei diminuări a amplitudinii de mișcare parțiale (ca în redori) sau totale (ca în anchiloze).

Al doilea tip de valori privind poziția arcului de cerc pe care se realizează mișcarea pune în evidență existența unor tulburări care limitează mișcarea la capetele excursiei ei. De exemplu, într-o ruptură de corn anterior de menisc, extensia completă a genunchiului nu mai este posibilă și mișcarea activă redusă la o amplitudine de 120° se efectuează pe arcul de cerc 15—135°. Exact invers se vor prezenta lucrurile într-o ruptură de corn posterior de menisc, în care flexia completă a genunchiului nu mai este posibilă și mișcarea activă redusă tot la o amplitudine de 120° se efectuează pe arcul de cerc 0—120°.

Al treilea tip de valori, privind diferențele dintre amplitudinile active și pasive, pune în evidență existența unor tulburări ale capacității funcționale musculare. O amplitudine pasivă normală sau chiar exagerată, însoțită de o amplitudine activă de 0°, este caracteristică unei paralizii totale a musculaturii segmentului respectiv.

Studiul amplitudinii mișcărilor cu raportorul medical sau cu alte aparate speciale pentru fiecare articulație în parte trebuie considerat doar ca un studiu adjuvant. Practicat cu răbdare și competență, aplicîndu-se axul raportorului exact pe axele de mișcări articulare, ceea ce presupune, bineînțeles o bună cunoaștere a acestora din urmă, studiul amplitudinilor mișcărilor ne poate aduce unele date valoroase pentru determinarea capacității funcționale de mișcare. Insuficiența majoră a acestei metode constă în faptul că, indiferent de numărul mai mic sau mai mare al unităților motorii care intră în acțiune, amplitudinea unei mișcări poate fi aceeași.

EXAMENELE ELECTRICE

O altă categorie de determinări apelează la examenele electrice, care au calitatea de a stabili modificările cantitative ale excitabilității atît la faradic, cît și la galvanic, prin aplicarea unor electrozi fie direct pe grupele musculare, fie pe trunchiurile nervoase care inervează grupele musculare.

Examenul electric poate să înregistreze o serie de modificări pe care școala americană le notează cu valori cuprinse între 0 și 5, după cum urmează :

0 — degenerescență totală, nu mai există nici urmă de contractibilitate ;

1 — degenerescență parțială ;

2 — degenerescență parțială cu contracție slabă ;

3 — degenerescență parțială cu contracție suficientă pentru o funcție favorabilă ;

4 — contracția corespunde unui mușchi practic normal ;

5 — (sau X) — mușchi normal.

Și această metodă s-a arătat însă insuficientă.

ELECTROMIOGRAFIA

Prin această metodă se analizează biocurenții generați de fibrele musculare active. Intensitatea și frecvența biocurenților musculari sînt variabile după intensitatea contracțiilor. Frecvența poate crește astfel de la 5—10/s pînă la 80—90/s.

Electromiografia reprezintă o metodă obiectivă de determinare, care ne informează nu numai asupra stării funcționale musculare din componența unității motorii, ci și asupra activității neuronului motor, din cornul anterior al măduvei.

TESTELE CLINICE 0—5

Examenul clinic specializat rămîne testul cel mai practic care ne poate ajuta la determinarea capacității funcționale. Meritul revine, probabil, lui *Pol le Cœur* pentru prima tentativă mai serioasă în acest sens, schițînd o scară de la 0 la 5, prin care valoarea funcțională a unui mușchi se poate nota numai pe baza examenului clinic.

Scara lui *Pol le Cœur* este următoarea :

0 — 0

1 — forță decelabilă, dar inutilă pentru funcție ;

2— forță utilă, dar insuficientă ;

3 — forță suficientă pentru o funcție uzuală ;

4 — forță normală, dar care se epuizează ușor ;

5 — forță normală.

Această scară are însă defectul de a fi prea lapidară și prea vagă, încadrarea unui mușchi într-o categorie sau alta este destul de dificilă și de aceea, de cele mai multe ori, ea nu poate fi făcută decît cu valori intermediare (1—2, 2—3, 3—4), ceea ce scade, desigur, mult din valoarea acestei scări.

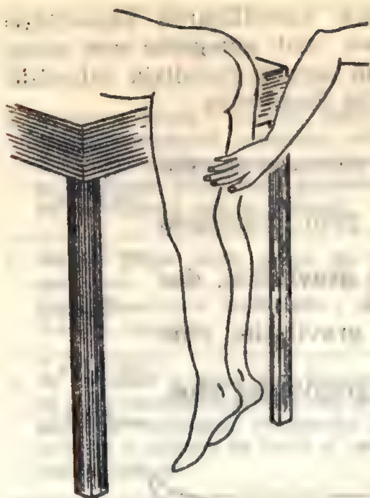


Fig. 70 — Determinarea capacităţii funcţionale musculare a ischio-gambierilor. Nu se simt contracţii musculare şi nici alunecarea tendoanelor=0. Se simte o uşoară reliefare a tendoanelor, fără a se executa mişcarea=1.



Fig. 71 — Determinarea capacităţii funcţionale musculare a ischio-gambierilor. Se execută mişcarea contra gravitaţiei=3.

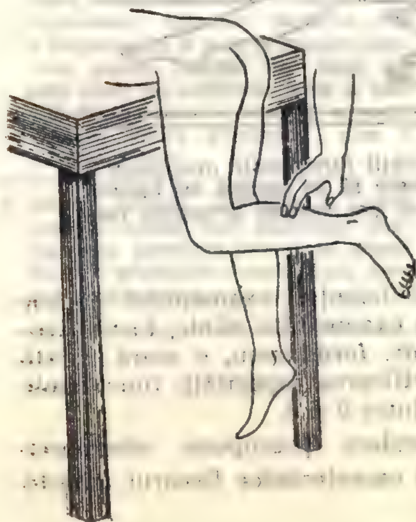


Fig. 72 — Determinarea capacităţii funcţionale musculare a ischio-gambierilor. Se execută mişcarea contra gravitaţiei, plus o rezistenţă uşoară=4.

O scară mai practică şi în care valorificarea capacităţii funcţionale musculare se poate face mai categoric este scara 0—5 propusă de Fundaţia Naţională pentru Paralizia Infantilă (The National Fundation for Infantile Paralysis).

0 — fără contracţie = 0%;
1 — contracţie modestă, fără executarea mişcării =10%;
2 — contracţie posibilă numai prin eliminarea gravitaţiei şi rezistenţei =25%;
3 — contracţie posibilă contra gravitaţiei, dar fără opunere de rezistenţă =50%;
4 — contracţie posibilă contra gravitaţiei, plus o rezistenţă =75%;
5 — contracţie posibilă contra gravitaţiei, plus o rezistenţă puternică =100%.



Fig. 73 — Determinarea capacităţii funcţionale musculare a ischio-gambierilor. Bolnavul poate să se susţină cu bazinul ridicat=5. Deci, ischio-gambierii pot susţine greutatea corpului şi în mers.

Cunoscînd, pe de o parte, deficienţele examenului electric şi, pe de altă parte, deficienţele examenului clinic, făcute izolat, am alcătuit, împreună cu *dr. Iordănescu*, o scară mixtă clinică şi electrică, în care valorificarea capacităţii funcţionale musculare să se facă tot cu note între 0 şi 5.

Depistarea capacităţii musculare presupune efectuarea unui anumit număr de manevre caracteristice fiecărui muşchi în parte. (fig. 70, 71, 72, 73).

Clinic	Electric
0. Paralizie totală ; nu se simte la palparea corpului muscular nici o fibră musculară care se contractă ; nu se simte alunecarea tendonului ; nu se execută nici o mişcare	Reacţie de degenerescenţă totală ; prag galvanic de excitabilitate mare (peste 17 mA)
1. Se pot palpa unele grupe de fibre musculare care se contractă ; se simte alunecarea tendonului ; nu se execută mişcarea	Reacţie de degenerescenţă totală ; prag galvanic de excitabilitate mai mic (peste 10 mA)
2. Se palpează o masă mai importantă de fibre musculare care se contractă ; se simte alunecarea tendonului ; se execută o mişcare cu forţă şi amplitudine redusă	Reacţie de degenerescenţă parţială ; prag faradic de excitabilitate maximă ;
3. Corpul muscular se contractă în masă ; tendonul se reliefează sub tegumente ; mişcarea se poate executa contra gravitaţiei ; are o forţă şi o amplitudine suficiente pentru funcţie, fără a fi însă normale	Reacţie de degenerescenţă parţială; prag faradic de excitabilitate mai scăzută
4. Corpul muscular se contractă în masă ; tendonul se reliefează sub tegumente ; mişcarea rezultată are o amplitudine şi o forţă aparent normale pentru funcţie, dar după un timp scurt de activitate forţa şi amplitudinea descresc ; mişcarea se poate executa contra gravitaţiei ; plus o rezistenţă mică	Reacţie de degenerescenţă parţială ; prag de excitabilitate aproape normală, dar contracţie lentă
5. Muşchi normal. Mişcarea se poate executa contra unei rezistenţe mari (egală cu greutatea învinsă în timpul funcţiei principale a muşchiului, mers sau prehensiune)	Normal

ANATOMIA FUNCŢIONALĂ ŞI BIOMECANICA SEGMENTELOR APARATULUI LOCOMOTOR

Fiecare segment al aparatului locomotor prezintă o structură funcţională şi o dinamică specifică. În capitolele ce urmează vom prezenta caracteristicile structurale şi funcţionale ale segmentelor considerate izolat.

CAPUL

Extremitatea cefalică se împarte în două porţiuni bine distincte : una de forma unei cutii sferoide, care conţine encefalul şi poartă numele de *craniu* (de la grecescul *kranos*=cască) sau *neurocraniu*, şi una destinată să adăpostească cea mai mare parte a organelor de simţ şi organele masticaţiei, care poartă numele de *faţă* sau *viscero-craniu.*

SCHELETUL CAPULUI

Forma şi structura scheletului capului sînt rezultatul forţelor ritmice de expansiune ale masei encefalice şi ale forţelor mecanice ce rezultă din activitatea muşchilor masticatori şi craniomotori.

Se descriu la scheletul capului două categorii de oase : ale neurocraniului şi ale viscero-craniului (fig. 74). Dispoziţia acestor oase poate fi prezentată ca în schema din figura 75.

Oasele neurocraniului. Neurocraniul este alcătuit din 8 oase plate, dintre care 4 impare şi mediane şi 4 perechi. Cele 4 oase impare şi mediane, studiate dinainte înapoi, sînt următoarele :

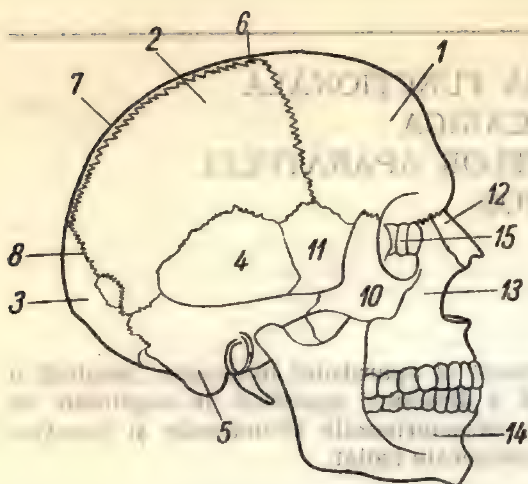


Fig. 74 — Oasele craniului văzute din profil :

1 — frontal ; 2 — parietal ; 3 — occipital ; 4 — temporal ; 5 — apofiza mastoidă a temporalului ; 6 — sutură fronto-parietală ; 7 — sutură interparietală ; 8 — sutură parieto-occipitală ; 9 — sutură parieto-temporală ; 10 — arcadă zigomatică ; 11 — os malar ; 12 — os nazal ; 13 — maxilar superior ; 14 — mandibulă ; 15 — etmoid.

Oasele craniului -8			OCCIPITAL			Sinartroze
	Parietal Temporal		ETMOID - SFENOID		Temporal Parietal	
			FRONTAL			
Oasele fetei -14	Os nazal Cornet inferior Os lacrimal Os zigomatic Palatin	MAXILAR SUPERIOR	VOMER	MAXILAR SUPERIOR	Os nazal Cornet inferior Os lacrimal Os zigomatic Palatin	
			MANDIBULĂ			Os mobil

Fig. 75 — Schema oaselor capului.

frontalul, etmoidul, sfenoidul și *occipitalul*. Cele 4 oase perechi sînt : cele 2 oase *parietale* și cele 2 *temporale* (fig. 76).

Toate aceste oase, fiind plate, sînt alcătuite din cîte două tăblii de țesut compact, numite *tăblia externă* și *tăblia internă*, și dintr-un strat intermediar subțire de țesut spongios, denumit *diploe*. (fig. 77). Tăblia externă a oaselor craniului este

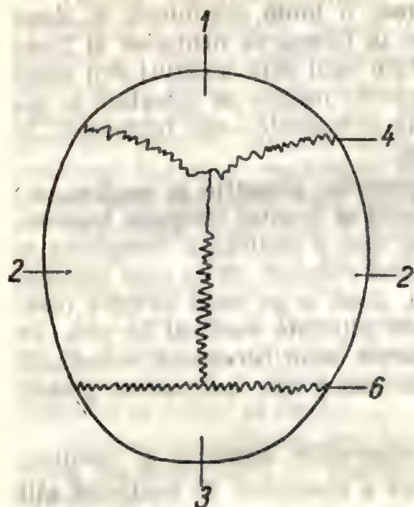


Fig. 76 — Neurocraniul văzut de sus :

1 — frontal ; 2 — parietal ; 3 — occipital ; 4 — sutură fronto-parietală ; 5 — sutură interparietală ; 6 — sutură parieto-occipitală.

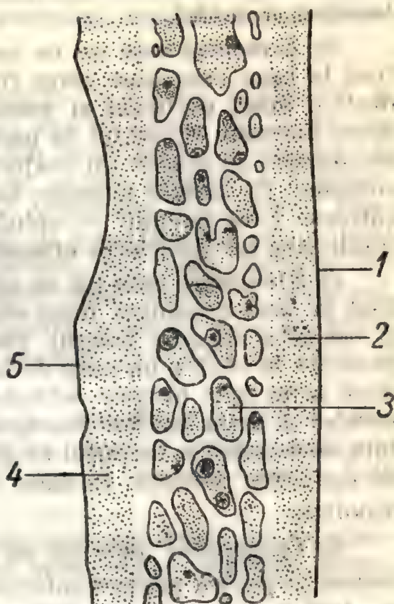


Fig. 77 — Secțiune printr-un os plat al craniului :

1 — suprafață exterioară ; 2 — tăblie externă ; 3 — diploe ; 4 — tăblie internă ; 5 — suprafață interioară.

convexă și regulată. Tăblia internă a oaselor craniului este concavă și neregulată. Aplicată pe encefal, ea se mulează pe acesta ca un model negativ de ceară. În dreptul circumvoluțiunilor, tăblia internă prezintă șanțuri *(impresiuni digitale)*, iar în dreptul șanțurilor encefalului prezintă o serie de proeminențe *(eminențe mamilare)*. Pe tăblia internă a oaselor craniului mai sînt imprimate, sub formă de șanțuri și traseele vaselor.

a) *Frontalul* este un os nepereche, simetric şi median, plasat în plan frontal, la partea anterioară a craniului, înaintea parietalului şi sfenoidului, cu care se articulează pentru a închide înainte partea anterioară a cavităţii craniene. În jos, el se articulează cu etmoidul şi cu oasele feţei. Frontalul prezintă în interiorul lui, între cele două tăblii, două cavităţi mai mult sau mai puţin dezvoltate, *sinusurile frontale*, care se deschid în meatul mijlociu al foselor nazale prin intermediul *infundibulumului etmoidal*.

b) *Etmoidul* este un os nepereche, simetric şi median, situat la baza craniului, între frontal şi sfenoid. El este alcătuit dintr-o *lamă verticală* şi *mediană*, o *lamă orizontală* şi *două mase laterale*. Etmoidul ia parte la formarea orbitelor şi foselor nazale. În marea lui majoritate osul este alcătuit din ţesut compact. În masele laterale, lamelele osoase se întretaie şi alcătuiesc 7—9 cavităţi — *celulele etmoidale* care formează, în totalitatea lor, *labirintul etmoidal*.

c) *Sfenoidul* este un os nepereche, simetric şi median, situat la baza craniului, între etmoid şi frontal (dispuse înainte) şi occipital (dispus înapoi). Osul are o structură complexă şi prezintă în centru *un corp* de formă cuboidă, de la care pornesc două aripi mici (*aripile orbitale*), două aripi mari (*aripile temporale*) şi două *apofize pterigoide* (dirijate vertical în jos). Pe faţa superioară a corpului se găseşte *şaua turcească*, mărginită de *apofizele clinoide*. În şaua turcească este adăpostită glanda hipofiză.

d) *Occipitalul* este un os nepereche, simetric şi median, dispus în partea postero-inferioară a craniului. El participă atît la alcătuirea bazei craniului, prelungind sfenoidul, cît şi la alcătuirea bolţii, la nivelul căreia se continuă cu temporalele şi parietalele. Osul occipital se află situat pe prima vertebră a coloanei vertebrale — *atlas*.

e) *Temporalul* este un os pereche, aşezat între sfenoid, occipital şi parietal. El este alcătuit din trei porţiuni : *porţiunea scuamoasă*, *stînca* şi *porţiunea mastoidiană*.

Stînca — sau porţiunea pietroasă — are forma unei piramide cvadrangulare, cu vîrful situat intern şi baza externă.

Porţiunea scuamoasă este plasată înaintea stîncii şi prezintă pe faţa sa inferioară *apofizele sigmoide*, care se articulează cu osul malar.

Temporalul conţine o serie de canale şi cavităţi, cu traiecte şi dimensiuni variate, care adăpostesc aproape în totalitate aparatul auditiv. Dintre acestea enumerăm : *conductul auditiv extern, urechea mijlocie* (cu *cavitatea pentru scuamoasă, casa timpanului şi trompa lui Eustache*), *urechea internă* (cu cele *trei canale semicirculare), conductul auditiv intern, canalul carotidian* etc.

f) *Parietalul* este un os pereche, situat deasupra temporalului, între frontal, înainte şi occipital, înapoi, alcătuind cea mai mare parte a bolţii craniene.

Oasele viscero-craniului. Situate la partea inferioară şi anterioară a craniului, oasele feţei sînt în număr de 14. Dintre acestea, 13 oase, plasate imediat sub baza craniului, sînt fixe şi adunate în jurul unuia dintre ele, numit *maxilarul superior*. Din cele 13 oase, numai unul este nepereche, *osul vomer*, celelalte sînt perechi, dispuse simetric de o parte şi de alta a liniei mediane. Ele sînt : *maxilarul superior, osul nazal, cornetul inferior, osul lacrimal, osul zigomatic* (osul malar) şi *palatinul*.

Marginea inferioară a maxilarelor superioare — *marginea alveolară* — conţine o serie de cavităţi (*alveolele dentare*) în care sînt implantaţi dinţii.

Al 14-lea os al feţei, maxilarul inferior (mandibula), este un os nepereche, simetric şi median, alcătuit dintr-o porţiune mijlocie, *corpul*, şi două ramuri laterale, numite *ramuri*. Este singurul os mobil al feţei.

Corpul mandibulei are forma unei potcoave, iar pe marginea lui superioară — *marginea alveolară* — prezintă *alveolele dentare*.

Regiunile comune ale oaselor capului. Între oasele neurocraniului şi oasele viscero-craniului se descriu o serie de regiuni comune şi anume : *regiunea temporală, cavităţile orbitare, fosele pterigo-maxilare* şi *bolta palatină*.

ARTICULAŢIILE CAPULUI

Sinartrozele. Toate oasele capului se unesc între ele prin *articulaţii fixe* — *sinartroze* sau *suturi*. În interiorul acestor articulaţii, care nu permit nici o mişcare, se găseşte fie ţesut fibros, fie ţesut cartilaginos. Stratul de ţesut fibros sau ţesut cartilaginos se poate osifica odată cu înaintarea în vîrstă şi

astfel suturile se obliterează, apar *sinostozele*, care fac ca oasele craniului să se continue unul cu celălalt.

Articulaţia temporo-mandibulară este singura articulaţie mobilă a capului. Ea uneşte partea superioară a ramurilor verticale ale mandibulei cu zona mijlocie a craniului şi permite masticaţia.

Este interesant de făcut o scurtă incursiune în anatomia comparată a acestei articulaţii la diferitele specii animale, care se pot grupa, după modul lor de masticaţie, în ronţăitoare, carnivore şi ierbivore.

Ronţăitoarele (şoarecii, cobaii, iepurii) se servesc în special de dinţii incisivi, pe care-i alunecă înainte şi înapoi unii faţă de alţii. Articulaţia temporo-mandibulară, la ronţăitoare, prezintă un condil mandibular alungit dinainte-înapoi şi o cavitate temporală alungită tot dinainte-înapoi. În această articulaţie nu sînt posibile decît mişcările de alunecare înainte şi înapoi (mişcări de du-te-vino).

Ierbivorele rumegă alimentele între dinţii molari, care acţionează ca două roţi de moară mobile una faţă de cealaltă. Condilul mandibular este mic şi rotunjit, iar cavitatea temporală este foarte largă, permiţînd condilului un joc larg, în cerc.

Carnivorele sfărîmă alimentele prin tăiere cu dinţii anteriori şi foarte ascuţiţi ai maxilarelor, care se apropie şi se depărtează între ele. Condilul mandibular este alungit transversal, cavitatea temporală de asemenea, iar mişcările pe care le permite articulaţia temporo-mandibulară nu sînt decît mişcările de ridicare şi de coborîre ale mandibulei.

Omul prezintă caracteristicile tuturor acestor trei tipuri de articulaţii. El poate şi ronţăi şi rumega şi sfîşia alimentele.

a) Suprafaţa articulară a mandibulei este alcătuită de fiecare parte din cîte un *condil* îndreptat oblic din afară-înăuntru şi dinainte-înapoi. Condilii prezintă o faţă anterioară şi una posterioară.

Suprafaţa articulară a temporalului prezintă un *condil temporal*, care pleacă de la baza apofizei zigomatice, şi o *cavitate glenoidă*, de formă elipsoidală. Şi condilul şi cavitatea glenoidă sînt orientate oblic, înăuntru şi înapoi.

b) Deoarece atît *condilul mandibular*, cît şi suprafaţa glenoidă temporală sînt convexe, ele nu respectă principiul congruenţei articulare şi au între ele un *menisc* de formă eliptică.

c) Cele două suprafețe articulare sînt unite între ele printr-o *capsulă*, întărită de două *ligamente laterale*, unul *extern* și unul *intern*. Meniscul aderă la fața interioară a manșonului capsular și împarte cavitatea articulară în două etaje, unul *suprameniscal* și altul *submeniscal*. Atît în primul, cît și în al doilea, fața interioară a capsulei este acoperită de *sinovială*.

MUȘCHII CAPULUI

Se împart în două mari grupe : *mușchii pieloși ai capului* și *mușchii masticatori*.

Mușchii pieloși ai capului au drept caracteristică comună conexiuni întinse cu pielea craniului și a feței. Aceștia sînt mușchii mimicii. Ei sînt inervați de nervul facial și se pot împărți în :

a) mușchii pieloși ai craniului (*mușchiul frontal* și *mușchiul occipital*, legați între ei de o aponevroză epicraniană) ;

b) mușchii pieloși ai pleoapelor (*orbicularul pleoapelor*) ;

c) mușchii pieloși ai nasului (*piramidalul, transversul nasului, mirtiformul, dilatatorul narinelor*) ;

d) mușchii pieloși ai gurii (*orbicularul buzelor, ridicătorul comun al aripii nasului* și al *buzei superioare* etc.)

Mușchii masticatori constau din 4 mușchi motori care ridică mandibula și 4 mușchi motori care coboară mandibula.

Mușchii care ridică mandibula sînt :

1. *Mușchiul temporal*, care ocupă fosa frontală, de forma unui evantai larg, inserîndu-se proximal pe linia temporală inferioară și distal pe apofiza coronoidă a maxilarului inferior.

2. *Mușchiul maseter* este scurt, gros, patrulater, situat pe fața externă a ramurii verticale a mandibulei. El se inseră proximal pe marginea inferioară a arcadei zigomatice și distal pe fața externă a ramurii mandibulei.

3—4. *Pterigoidianul intern* și *pterigoidianul extern*, care se găsesc în fosa pterigoidă și se inseră proximal pe apofiza pterigoidă, iar distal pe marginea inferioară a ramurii mandibulei. Sînt tot elevatori ai mandibulei și realizează în plus mișcarea de lateralitate a acesteia.

În afara acestor 4 mușchi ai capului, în mișcările de masticație mai intervin o serie de mușchi ai gîtului și anume : *pielosul gîtului, diagastricul, milo-hioidianul* și *gonio-hioidianul*. Spre deosebire de mușchii masticatori care ridică mandibula, mușchii gîtului sînt coborîtori ai mandibulei.

1. *Pielosul gîtului* este situat în regiunea antero-laterală a gîtului, imediat sub piele, şi se întinde de la ţesutul celular subcutanat supra-clavicular şi supra-acromial la marginea inferioară a mandibulei.

2. *Digastricul* este alcătuit din două porţiuni musculare (pîntece), una anterioară şi una posterioară, unite între ele printr-un tendon intermediar. Se inseră proximal pe apofiza mastoidă, iar distal pe marginea inferioară a mandibulei.

3. *Milo-hioidianul* se inseră proximal pe linia milo-hioidiană a mandibulei şi distal pe osul hioid.

4. *Gonio-hioidianul* se inseră proximal pe marginea inferioară a mandibulei, iar distal pe osul hioid.

CALITĂŢILE BIOMECANICE ALE CRANIULUI

Forma sferoidală a craniului asigură, sub o suprafaţă minimă, o cavitate cu un volum maxim, care adăposteşte encefalul. Luat în totalitate, craniul prezintă o rezistenţă şi o elasticitate remarcabile. În mod normal, el suportă presiunile transmise de muşchii masticatori, presiuni ce pot atinge 400—600 kg. Un craniu lăsat să cadă pe podea sare ca o minge. Comprimat în sens transversal, sau sagital, el îşi poate reduce diametrele cu cîţiva centimetri fără să se fractureze.

În cazul traumatismelor craniene, gravitatea leziunilor este legată în primul rînd de viteza cu care agentul vulnerant loveşte craniul sau viteza cu care craniul loveşte un plan rezistent. La o viteză mică, deci la o energie cinetică mică, craniul poate absorbi, datorită calităţilor sale mecanice, întreaga forţă şi poate să nu se fractureze. La o viteză mai mare, se pot produce *fisuri* (plesnituri), la una şi mai mare apar *fracturile cominutive* (cu mai multe fragmente), iar la una considerabil mai mare apar *fracturile penetrante* (în care oasele se înfundă în encefal).

BIOMECANICA ARTICULAŢIEI TEMPORO-MANDIBULARE

Articulaţia temporo-mandibulară prezintă trei grade de libertate, mandibula putînd executa trei feluri de mişcări : de coborîre şi de ridicare, de proiecţie înainte şi înapoi şi de lateralitate. În timpul acestor mişcări mandibula se comportă ca

o pîrghie de gradul III (fig. 78). Punctul de sprijin este reprezentat de articulațiile temporo-mandibulare (S) rezistența — de greutatea mandibulei și duritatea bolului alimentar (R), iar forța — de inserțiile masticatorilor pe unghiul mandibulei (P). Brațul forței SF fiind mai scurt decît brațul rezistenței FR, pîrghia mandibulară pierde din forța ei, dar cîștigă în schimb din viteză, ceea ce ajută la scurtarea timpului de masticație.

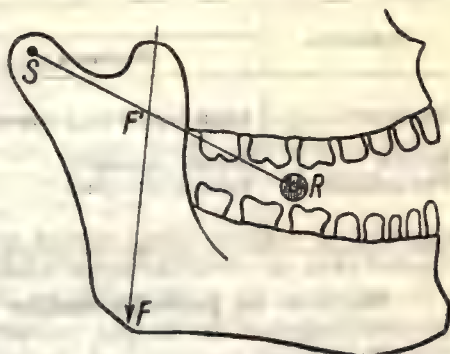


Fig. 78 — Mandibula acționează ca o pîrghie de gradul III, forța fiind plasată la mijloc.

Mișcările de coborîre și de ridicare se execută în jurul unei axe transversale, care trece prin partea mijlocie a ramurilor verticale ale maxilarurului inferior.

Mișcarea de coborîre a mandibulei este produsă, în primul rînd, de acțiunea gravitației, și este ajutată de următorii mușchi ai gîtului : pîntecele anterior al digastricului, milo-hioidianul, genio-hioidianul și pielosul gîtului. Acești mușchi își iau punct fix de inserție pe capetele lor distale și se contractă izotonic, acționînd prin capetele lor proximale asupra mandibulei.

Tabel recapitulativ al mușchilor coborîtori ai mandibulei

Denumirea	Inserția	
	Proximală	Distală
Digastric (pîntece anterior)	Apofiza mastoidă	Marginea inferioară a mandibulei
Milo-hioidian	Linia milo-hioidiană a mandibulei	Os hioid
Genio-hioidian	Marginea inferioară a mandibulei	Os hioid
Pielos gît	Marginea inferioară a mandibulei	Supra-clavicular

Mişcarea de ridicare a mandibulei este produsă de muşchii temporal, maseter şi pterigoidian (fig. 79). Aceşti muşchi îşi iau puncte fixe de inserţie pe capetele lor proximale, se contractă izotonic şi acţionează prin capetele lor distale asupra mandibulei.

Tabel recapitulativ al muşchilor ridicători ai mandibulei

Denumirea	Inserţia	
	Proximală	Distală
Temporal	Linia temporală inferioară	Apofiza coronoidă a mandibulei
Maseter	Arcada zigomatică	Faţa externă a mandibulei
Pterigoidieni	Apofiza pterigoidă	Marginea inferioară a mandibulei

Mişcările de proiecţie înainte şi înapoi se execută în plan antero-posterior. În timpul proiecţiei înainte, condilii mandibulari părăsesc concomitent cavităţile glenoide temporale. Mişcarea de proiecţie înainte este produsă prin contracţia simultană a celor doi muşchi pterigoidieni externi. Mişcarea de proiecţie înapoi este produsă de digastric şi temporal.

Mişcările de lateralitate, numite şi *mişcări de diducţie,* sînt mişcările prin care mentonul se îndreaptă alternativ la



Fig. 79 — Acţiunea muşchilor motori ai articulaţiei temporo-mandibulare :

1 — temporal (ridicător şi retropropulsor) ; 2 — maseter (ridicător) ; 3 — pterigoidian intern (ridicător) ; 4 — pterigoidian extern (ridicător şi propulsor).

dreapta şi la stînga. În aceste mişcări condilii mandibulari părăsesc consecutiv cavităţile glenoide : cînd unul din ei părăseşte cavitatea glenoidă, celălalt rămîne pivot şi invers.

Muşchii care realizează aceste mişcări, prin contracţia lor alternativă de o parte şi de alta, sînt muşchii pterigoidieni, externi şi interni. Cînd pterigoidienii de o parte se contractă izotonic, cei de partea opusă se contractă izometric şi invers.

COLOANA VERTEBRALĂ

Coloana vertebrală este cel mai important segment al aparatului locomotor. De ea sînt legate toate celelalte segmente care alcătuiesc trunchiul (toracele şi bazinul) şi tot pe ea se inseră membrele superioare şi inferioare.

Profesorul *Bywaters* îşi începe astfel prefaţa la monografia lui *François* „Le rachis dans la spondylarthrite ankylosante" (1976) : „Coloana vertebrală ne diferenţiază pe noi oamenii şi pe încă alte puţine specii animale de celelalte numeroase specii mai puţin dominante, cum ar fi viespile, viermii şi gărgăriţele. Coloana vertebrală ne conferă simetria corpului şi direcţia de mişcare. Ea înconjoară şi protejează sistemele noastre de comunicare şi face posibilă atît mobilitatea, cît şi stabilitatea noastră, datorită suprapunerii mai multor piese osoase provenite din tubul cartilaginos original. Ne asigură astfel şansa de a stăpîni şi domina, atît pămîntul, cît şi cerul".

Segment complex, de o mare importanţă funcţională, coloana vertebrală este alcătuită din 33 sau 34 segmente osoase, 344 suprafeţe articulare, 24 discuri intervertebrale şi 365 ligamente cu 730 puncte de inserţie. Asupra coloanei vertebrale acţionează nu mai puţin de 730 inserţii musculare *(Reinberg)*.

SCHELETUL COLOANEI VERTEBRALE

Coloana vertebrală este alcătuită din 33 sau 34 de piese osoase suprapuse, numite *vertebre*.

Vertebrele au o parte anterioară, denumită *corp*, şi o parte posterioară, denumită *arc*. Aceste două părţi închid între ele canalul vertebral (fig. 80).

Corpul vertebrei este partea cea mai voluminoasă şi are forma unui cilindru scurt care prezintă două feţe (*superioară* şi *inferioară*) şi o circumferinţă. Cele două feţe ale corpului

vertebral sînt alcătuite dintr-o lamă de țesut osos fibros, numită *placă terminală*.

Arcul vertebral are o formă neregulată. Posterior și median prezintă o *apofiză spinoasă*, lateral două *apofize transverse* și deasupra și dedesubt, cît două *apofize articulare* (în total, patru apofize articulare dispuse vertical). Între apofiza spinoasă și apofizele articulare se găsesc *lamele vertebrale*; porțiunile care leagă arcul vertebral de corpul vertebral se numesc *pediculi*.

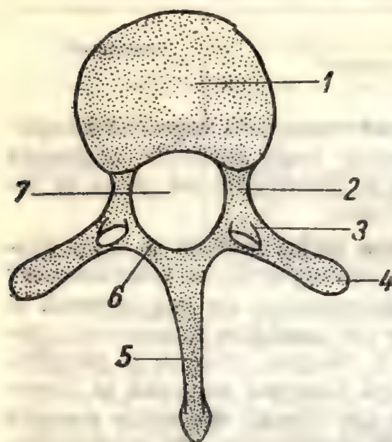


Fig. 80 — Schema unei vertebre văzute de sus:
1 — corp vertebral; 2 — pedicul; 3 — apofiza articulară; 4 — apofiza transversă; 5 — apofiza spinoasă; 6 — lamă; 7 — orificiu rahidian.

Coloana vertebrală se împarte în patru regiuni, fiecare din ele fiind alcătuită, în mod normal, dintr-un număr fix de vertebre:

— regiunea cervicală — 7 vertebre;

— regiunea dorsală — 12 vertebre;

— regiunea lombară — 5 vertebre;

— regiunea sacro-coccigiană — 9—10 vertebre.

Vertebrele din fiecare regiune au o serie de caracteristici.

Vertebrele cervicale au corpul alungit transversal, canalul vertebral este mare și triunghiular, apofizele spinoase scurte și puțin înclinate, apofizele transverse prezintă la baza lor un orificiu pentru *artera vertebrală*.

Prima vertebră cervicală, *atlasul*, este alcătuită din două mase laterale, unite între ele printr-un *arc anterior* și un *arc posterior* (fig. 81). Pe fața superioară a maselor laterale se găsește cîte o *cavitate glenoidă* pentru articularea cu condilii occipitalului. Pe fața inferioară a maselor se găsește de asemenea cîte o fațetă articulară pentru apofizele articulare ale celei de a doua vertebre cervicale. Atît pe arcul anterior, cît și pe cel posterior se găsește cîte un tubercul — *tuberculul anterior* și *tuberculul posterior*.

A doua vertebră cervicală, *axisul*, este caracterizată prin corpul său alungit transversal ; pe fața lui superioară se află *apofiza odontoidă ;* aceasta are 12—16 mm înălțime și reprezintă un pivot cilindric în jurul căruia se rotește atlasul, în mișcările de rotație ale capului.

A șaptea vertebră cervicală are o apofiză spinoasă foarte



Fig. 81 — Prima vertebră, atlas, văzută de sus :
1 — orificiu rahidian ; 2 — arc anterior ; 3 — fațetă articulară pentru apofiza odontoidă ; 4 — cavitate glenoidă pentru condilii occipitali ; 5 — masă laterală ; 6 — orificiul arterei vertebrale ; 7 — apofiză transversală ; 8 — arc posterior ; 9 — tubercul posterior.

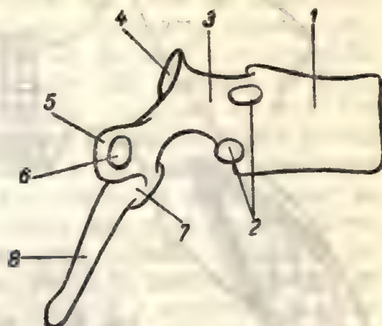


Fig. 82 — Schema unei vertebre dorsale văzută de profil :
1 — corp ; 2 — fațete articulare pentru coaste ; 3 — pedicul ; 4 — apofiză articulară superioară ; 5 — apofiză transversă ; 6 — fațetă articulară pentru tuberozitatea costală ; 7 — apofiză articulară inferioară ; 8 — apofiză spinoasă.

lungă, de unde și denumirea ce i se mai dă de *vertebră proeminentă.*

Vertebrele dorsale au corpul rotund, canalul vertebral îngust și circular, apofizele spinoase mult înclinate înapoi. Apofizele transverse prezintă la vîrful lor, pe fața anterioară, o *fațetă articulară* pentru tuberozitatea coastei corespunzătoare (fig. 82 și fig. 83).

Vertebrele lombare sînt cele mai voluminoase ; au corpul ușor lățit transversal, apofizele spinoase dispuse orizontal, iar apofizele transverse atrofiate. Văzut din profil, corpul vertebrelor lombare este mai înalt la partea lui anterioară decît la cea posterioară. *Cunningham* a stabilit un *„indice lombar"* după formula :

$$\text{Indice lombar} = \frac{\text{înălțimea corpului înapoi}}{\text{înălțimea corpului înainte}} \times 100$$

La om acest indice este aproape întotdeauna inferior lui 100, variind după *Taillard* între 97,46 şi 98,68 (spre deosebire de celelalte animale unde indicele este superior lui 100). Calculat pe radiografiile de profil, indicele lombar permite în clinică aprecierea obiectivă a lordozei lombare.

Vertebrele regiunii sacro-coccigiene, în număr de 9—10, fuzionează între ele; primele 5 formează sacrul, iar ultimele 4—5 alcătuiesc coccigele. Asupra sacrului şi coccigelui vom reveni la descrierea bazinului.

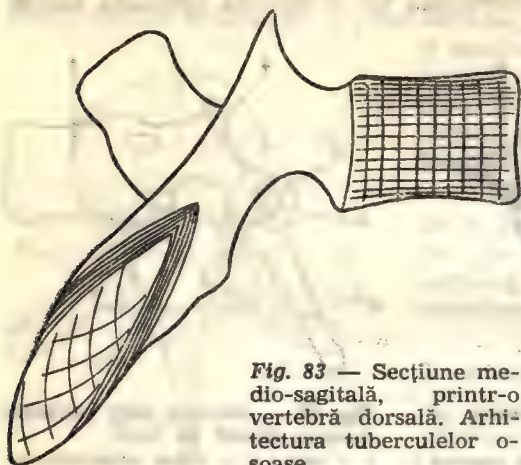


Fig. 83 — Secţiune medio-sagitală, printr-o vertebră dorsală. Arhitectura tuberculelor osoase.

În afara acestor caracteristici regionale, fiecare vertebră prezintă şi diferenţieri morfo-funcţionale individuale, rezultate din adaptarea specifică de-a lungul evoluţiei filogenetice.

ARTICULAŢIILE COLOANEI VERTEBRALE

Între vertebre se realizează o serie de linii articulare pe care le vom deosebi în: articulaţiile corpilor vertebrali (intersomatice), articulaţiile apofizelor articulare, articulaţiile lamelor vertebrale, articulaţiile apofizelor spinoase şi articulaţiile apofizelor transverse.

Articulaţiile corpilor vertebrali sînt amfiartroze perfecte.

a) *Suprafeţele articulare* sînt date de feţele superioare şi inferioare, uşor concave, ale corpilor vertebrali. Între aceste suprafeţe osoase se găsesc discurile intervertebrale.

b) *Discurile intervertebrale* sînt formaţiuni fibro-cartilaginoase constituite dintr-o porţiune periferică fibroasă — *inelul fibros* — şi una centrală — *nucleul pulpos.*

Discul intervertebral şi părţile lui componente încep să se constituie încă de la embrionul de 40 mm. Ţesutul mezemchi-

matos, care formează vertebrele se diferențiază la nivelul discurilor intervertebrale, într-o porțiune periferică fibroblastică din care va proveni inelul fibros („annulus") și o porțiune centrală cartilaginoasă care degenerează și din care va proveni nucleul pulpos. (*Tondüry*-1953 ; *Prader*-1947 ; *Peacok*-1952 ; *Robles Marin* și *Agreda*-1974).

Inelul fibros periferic este alcătuit din lame de fibre conjunctive care se inseră profund pe zona compactă osoasă, continuîndu-se cu fibrele colagene ale osului. Ele sînt orientate oblic față de vertebre și se încrucișează între ele. Lamele de fibre sînt unite între ele, printr-o substanță denumită ciment. Ele sînt mai numeroase la partea anterioară a inelului fibros și mai puțin numeroase la partea posterioară a lui unde și orientarea devine mai paralelă. De asemenea și cimentul interlamelar se găsește la partea posterioară în cantitate mai mică, ceea ce favorizează hernierea nucleului pulpos spre canalul vertebral. În partea centrală lamele de fibre se pierd în nucleul pulpos în care se sudează, la matricea intercelulară a acestuia. Sudura este așa de strînsă, încît deosebirea dintre inelul fibros și nucleul pulpos se face cu mare greutate.

Experiențele efectuate de *Galante* au demonstrat că rezistența la tracțiune a inelului fibros se aseamănă cu aceea a tendoanelor și că ea crește de la centru spre periferia inelului. Lamele externe care sînt dealtfel supuse și celor mai mari eforturi sînt și cele mai solide.

Văzute la microscop, în plan vertical, fibrele inelului se încrucișează oblic sub un anumit unghi (fig. 84, a). Cînd discul este încărcat, unghiul respectiv se micșorează, discul diminuează în înălțime și se lățește (fig. 84 b).

Nucleul pulpos central este alcătuit dintr-o masă cu aspect gelatinos, este oval ca o lentilă turtită și este format dintr-un țesut fibros foarte lax infiltrat de lichid (75—90%), din cîteva celule asemănătoare condrocitelor și din resturi din notocordă. Celulele notocordale, puține, dealtfel, degenerează și sînt înconjurate în centrul nucleului de un diafragm care împarte orizontal nucleul în două. Astfel se poate explica aspectul în potcoavă, care apare

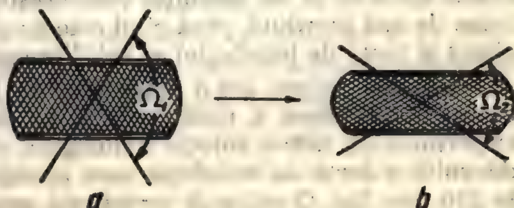


Fig. 84 — **Direcția fibrelor inelului fibros : a — în descărcare și b — în încărcare.**

în urma injecţiilor cu substanţe de contrast în nucleul pulpos (fig. 85). Cu vîrsta, resturile din notocordă devin din ce în ce mai rare, cedînd locul substanţei fundamentale şi ajungînd să dispară complet, de obicei către 55 ani.

Toate elementele nucleului sînt dispersate într-o matrice intercelulară în care mai sînt înglobate şi puţine fibre colagene

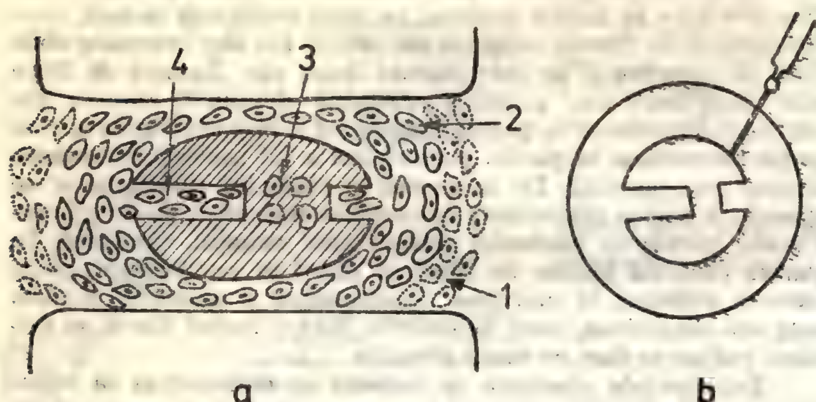


Fig. 85 — Secţiune verticală printr-un disc intervertebral : a — schema aspectului histologic : 1 — inel fibros ; 2 — pars cartilagineus ; 3 — resturi notocordale şi 4 — diafragmul ; b — schema aspectului unei discograme.

slab diferenţiate, fiecare din ele acoperite de un complex polizaharidoproteinic. Structura acestor polizaharide bazîndu-se pe condroitin-sulfaţi, prin grupele hidroxil pe care le conţine, oferă nucleului capacitatea de a capta şi menţine apa.

Nucleul pulpos se comportă fizic ca un gel care pierde apă şi îşi diminuează fluiditatea în raport direct cu presiunea care se exercită asupra lui. Cînd gelul pierde apa se dezvoltă în interiorul lui o forţă de inhibiţie care creşte proporţional cu cantitatea de apă pierdută, pînă cînd cele două forţe (presiunea exercitată şi forţa de imbibiţie) se echilibrează.

Nucleul pulpos are o mare forţă de imbibiţie, care se poate asemăna cu aceea a unei laminarii pusă în apă. Pus în mod experimental, într-o soluţie fiziologică, nucleul pulpos proaspăt dezvoltă o forţă de imbibiţie care ajunge, după *Charnley*, pînă la 250 mm Hg. O coloană vertebrală proaspătă, căreia i se secţionează toate ligamentele longitudinale, se alungeşte cu cîţiva centimetri, ca urmare a umflării cu apă a nucleelor pulpoase.

În regiunile dorsală și lombară nucleul pulpos este așezat la unirea treimii mijlocii cu treimea posterioară, iar în regiunea cervicală ceva mai înainte, chiar la unirea treimii anterioare cu treimea medie.

Dacă se consideră însă aparatul vertebral în totalitate, nucleul pulpos apare situat la jumătatea distanței între fața anterioară a coloanei vertebrale și planul interliniilor articulare ale micilor articulații posterioare, ceea ce permite o mișcare perfectă de basculă (fig. 86). Situația lui nu este însă fixă, deoarece se mobilizează în cursul mișcărilor. Deplasările nucleului pulpos sînt posibile deoarece el este deformabil, elastic și expansibil, aceste calități fiind legate de conținutul său în apă. Nucleul se află astfel într-o permanentă presiune și este ușor de înțeles de ce orice defect al inelului fibros care-l înconjură permite hernierea lui *(hernia de disc)*.

Limita superioară și cea inferioară a discurilor sînt alcătuite din lamele cartilaginoase care protejează nucleul pulpos de presiunile excesive.

Vascularizația variază cu vîrsta. La embrion, în țesutul discului intervertebral, superior și inferior, pătrund prin lamele cartilaginoase cîte 3 vase, care se obturează odată cu vîrsta, astfel că la terminarea creșterii discul nu mai este vascularizat. Prezența vaselor în discul adult este posibilă numai în condiții patologice. Nutriția cartilajului se face prin imbibiție, prin lamele terminale ale suprafețelor articulare vertebrale.

Inervația discurilor este precară. Nucleul pulpos nu este inervat. Inelul fibros este inervat de ramurile nervoase provenite din nervii sinu-vertebrali, care inervează și ligamentul vertebral comun posterior (fig. 87).

Rolul discurilor intervertebrale este multiplu : *a)* contribuie, prin rezistența lor, la menținerea curburilor coloanei ; *b)* favorizează, prin elasticitatea lor, revenirea la starea de echilibru după terminarea mișcării ; *c)* transmit în toate direcțiile greutatea corpului diferitelor segmente ale coloanei și *d)* amortizează șocurile sau presiunile la care fiecare segment este supus în mod special în cursul mișcărilor sau eforturilor.

Simpla trecere de la poziția culcat la verticală provoacă o suprapresiune de 45,500 kg la nivelul nucleului pulpos al discurilor lombare. În timpul mișcării de redresare după o flexie înainte a corpului, suprapresiunea suportată de nucleul pulpos

se mărește la 90—135 kg *(Petter)*. În cursul diferitelor poziții și mișcări, discurile intervertebrale sînt supuse unor eforturi încă și mai considerabile care pot fi calculate.

Pentru realizarea acestor calcule, *Leonardi* și colab. (1968) au pornit de la greutatea diferitelor segmente ale corpului ome-

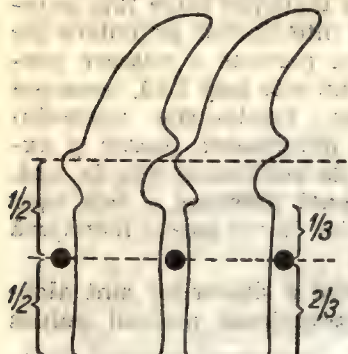


Fig. 86 — Poziția nucleului pulpos față de corpii vertebrali.

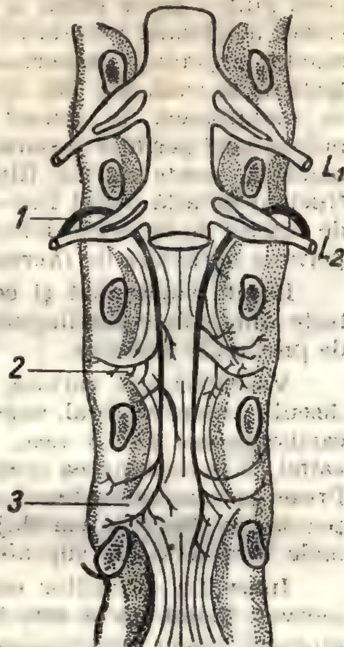


Fig. 87 — Inervația discurilor lombare :
L_1 — rădăcină L_1 ; L_2 — rădăcină L_2 ; 1 — nerv sinu-vertebral ; 2 și 3 — discuri lombare.

nesc. Tabloul greutăților segmentelor, procentual și în kilograme pentru un om de 80 kg, este următorul :

Segmentul	Greutate	
	Procentual	În kg
Cap și gît	3,7%	3 kg
Membre superioare	17,7%	14 kg
Trunchi	37,6%	30 kg
Membre inferioare	41,0%	33 kg
TOTAL :	100,0%	80 kg

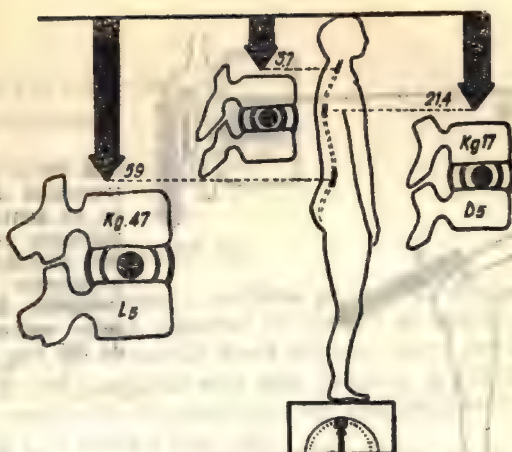


Fig. 88 — Teoretic încărcătura aplicată asupra diferitelor segmente ale coloanei vertebale a unui subiect cu o greutate de 80 kg, în poziţie stînd.

În poziţia stînd (ortostatică) asupra discului C_6—C_7 va apăsa o greutate de 3 kg ; asupra discului D_4—D_5 o greutate de 17 kg şi asupra discului L_4—L_5 o greutate de 47 kg (fig. 88).

Dacă subiectul din poziţia ghemuit încearcă să ridice o greutate de 10 kg, asupra apofizelor spinoase ale coloanei lui lombare acţionează o forţă de tracţiune de 141 kg (fig. 89), care se deduce din următoarea formulă :

$$F = (P_1 \times 3) + (P_2 \times 2) + (P_3 \times 3)$$

în care P_1 = greutatea capului, gîtului şi membrelor superioare ; P_2 = greutatea trunchiului şi P_3 = greutatea de ridicat. Rezultă că :

$$F = 51 + 60 + 30 = 141 \text{ kg.}$$

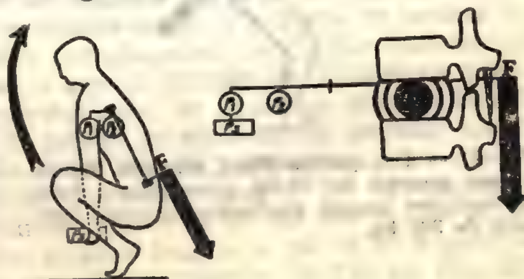


Fig. 89 — Din poziţia ghemuit, ridicarea unei greutăţi de 10 kg presupune o forţă de tracţiune asupra apofizelor spinoase lombare de 141 kg.

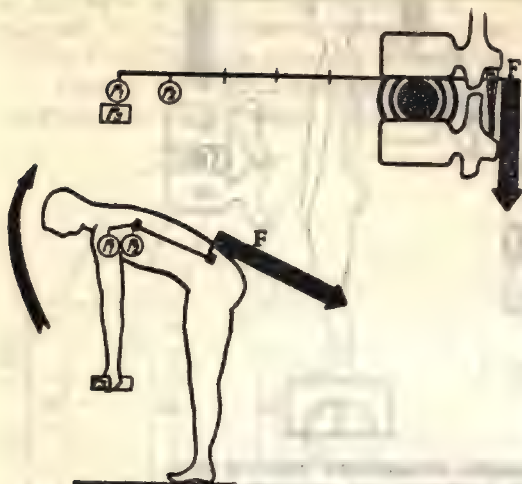


Fig. 90 — Din stînd cu trunchiul aplecat înainte, cu genunchii extinși, ridicarea de pe sol a unei greutăți de 10 kg, presupune o forță de tracțiune asupra apofizelor spinoase lombare de 255 kg.

Aceeași greutate de 10 kg ridicată de la sol cu genunchii extinși, presupune o forță de tracțiune asupra apofizelor spinoase lombare de 255 kg (fig. 90) și dacă greutatea este dusă înainte de 363 kg (fig. 91), deoarece în prima situație :

$$F=(P_1\times 5)+(P_2\times 4)+(P_3\times 5)$$

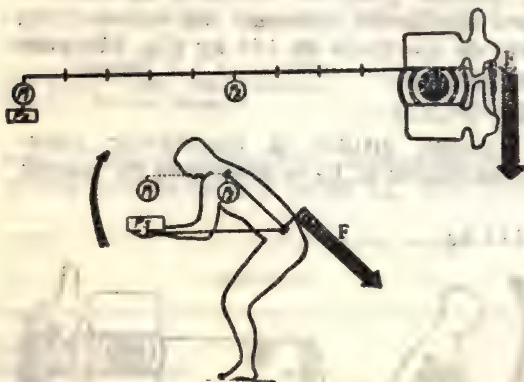


Fig. 91 — Din poziția stînd, ducerea înainte a unei greutăți de 10 kg, presupune o forță de tracțiune asupra apofizelor spinoase lombare de 363 kg.

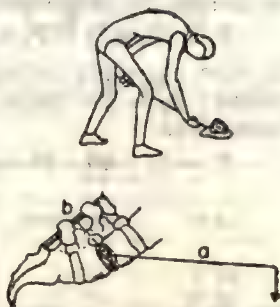


Fig. 92 — La un muncitor care ridică cu lopata pămînt, raportul forțelor de pîrghie a (rezistența) și b (forța) este de 15 la 1.

deci :

$$F=85+120+50=225 \text{ kg.}$$

Iar în a doua situaţie :

$$F=(P_1\times 9)+(P_2\times 4)+(P_3\times 9)$$

deci :

$$F=153+120+90=363 \text{ kg.}$$

În toate aceste cazuri, nucleul pulpos al discului intervertebral, care reprezintă punctul de sprijin al acestor pîrghii, suportă teoretic o presiune de două ori mai mare, deci între 282 kg şi 726 kg. Cu cît pîrghiile sînt mai lungi şi greutatea de ridicat mai mare, presiunile suportate de nucleul pulpos cresc şi ele pot ajunge pînă la 1 200 kg (fig. 92).

La o asemenea presiune, corpii vertebrali ar trebui să se fractureze, deoarece experienţele pe corpi vertebrali izolaţi au arătat că ei nu suportă greutăţi mai mari de 1 000 kg *(Boigey)*. Calculele de mai sus se referă însă exclusiv la forţele care acţionează nu şi la acelea care reacţionează pentru a le atenua, dintre care cele mai importante rămîn două : funcţia amortizoare a discului şi presa musculară abdomino-toracală.

În momentul încărcării discului, 2/3 sau chiar 3/4 din forţa exercitată este absorbită de eforturile tangenţiale care dilată discul. La fiecare nivel rămîne deci ca numai 1/3 sau 1/4 din încărcătură să se transmită discurilor subiacente. În plus, în timpul mişcărilor de ridicare a unei greutăţi, contracţia simultană a muşchilor abdominali, toracici şi a diafragmului formează o veritabilă *presă musculară* cu conţinut hidro-aeric, deci practic un cilindru semirigid, care luînd punct de sprijin pe bazin, descarcă coloane de cel puţin 1/3 din încărcătura sa.

Pentru a se putea determina în mod practic şi în parametri cît mai apropiaţi de realitate valoarea forţelor care acţionează asupra discurilor vertebrale, s-au introdus în centrul lor o serie de sonde pentru înregistrarea presiunilor intradiscale. Experienţele efectuate cu această tehnică de *Nachemson* (1960) au demonstrat că la nivelul celui de al treilea disc lombar, la un individ de 70 kg : în poziţia pe spate culcat (decubit dorsal) se exercită o presiune de 21 kg ; în poziţia culcat pe o parte (decubit lateral) de 70 kg ; în poziţia stînd de 100 kg ; în poziţia stînd cu trunchiul înclinat înainte la 45° de 150 kg, iar în poziţia stînd cu trunchiul înclinat înainte la 45° şi cu o greutate în mîini de 20 kg se exercită o presiune de 210 kg (fig. 93).

Menajarea discurilor intervertebrale față de solicitările inerente reprezintă o obligativitate față de însăși corpul nostru și trebuie urmărită pînă și în timpul luării celor mai banale poziții, cum ar fi de exemplu șederea pe un scaun. Cînd speteaza este înclinată înapoi, lordoza lombară normală dispare, articulația coxo-femurală se extinde și solicitarea discurilor intervertebrale este mai importantă (fig. 94 a). În mod corect se șade

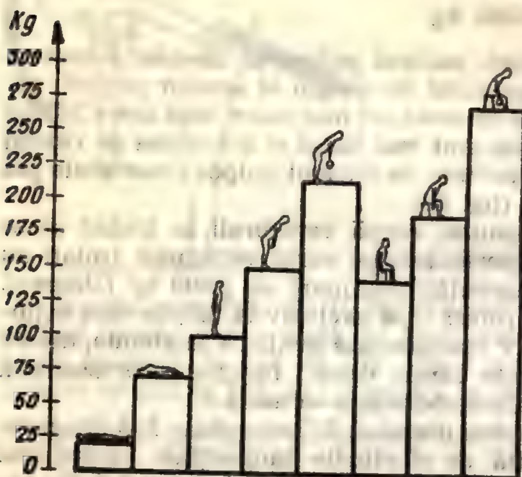


Fig. 93 — Presiunile intra-discale produse la nivelul celui de al treilea disc lombar, la un subiect de 70 kg, în diferite poziții.

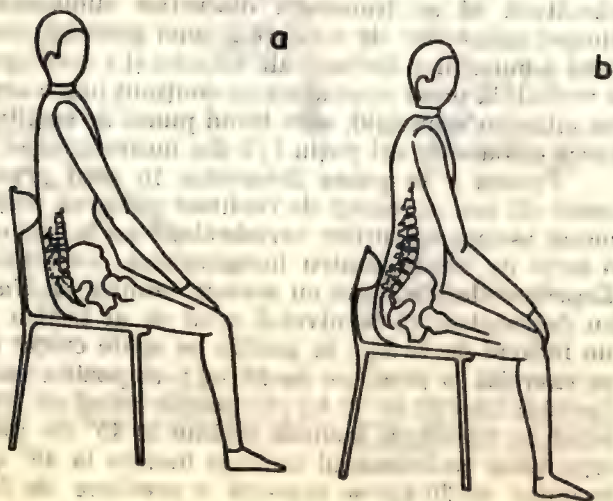


Fig. 94

astfel încît lordoza lombară să se menţină, ceea ce atrage o mai bună echilibrare a coloanei vertebrale (fig. 94 b).

Desigur, studiile se complică în timpul efectuării exerciţiilor fizice, dar menajarea discurilor intervertebrale rămîne indispensabilă. Tehnica unui exerciţiu fizic este cu atît mai corectă cu cît respectă mai mult legile biomecanice de protecţie împotriva solicitărilor discurilor intervertebrale.

Un exemplu demonstrativ ni-l poate da tehnica corectă de ridicare a halterelor, în cadrul căreia, succesiunea poziţiilor se conformează necesităţilor funcţionale de menajare a discurilor intervertebrale.

Halterofilul prinde haltera flectîndu-şi coloana şi genunchii (fig. 95 a). Apoi extinde capul şi îşi redresează cifoza, astfel
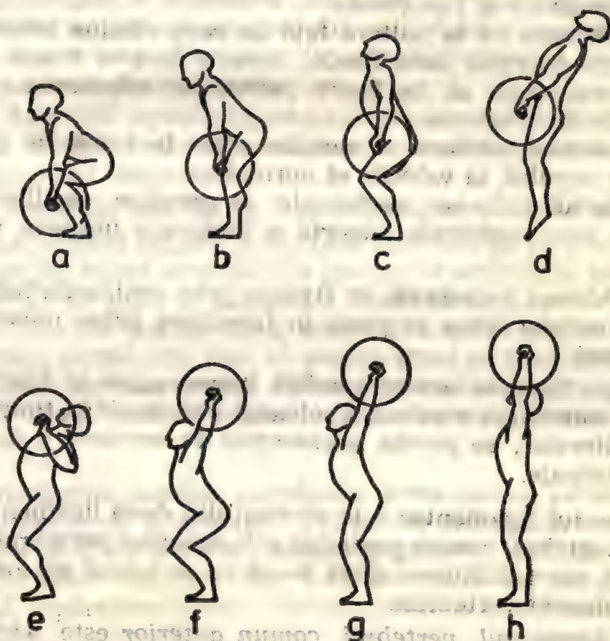


Fig. 95 — În tehnica corectă a ridicării halterelor se respectă legile biomecanice de menajare a discurilor intervertebrale :

a — poziţia de prindere ; b — ridicarea de pe sol ; c — ridicarea deasupra genunchilor ; d — pregătirea pentru aducerea halterelor la nivelul umerilor ; e — aducerea halterelor la nivelul umerilor ; f — pregătirea pentru ridicarea deasupra capului ; g — ridicarea deasupra capului ; h — menţinerea halterelor deasupra capului. În toate fazele coloana se menţine rectilinie.

încît coloana să fie rectilinie. Din această poziție inițială flectează ușor coatele și extinde concomitent gleznele, genunchii și șoldurile. Coloana se menține tot timpul rectilinie (fig. 95 b). După ce haltera a depășit înălțimea genunchilor (fig. 95 c), se folosește toată forța pentru ridicarea ei, coloana menținîndu-se tot rectilinie. Coloana se înclină înapoi, capul se apleacă pe spate (fig. 95 d) și se trage haltera la înălțimea umerilor (fig. 95 e). În continuare halterofilul flexează genunchii și aruncă haltera deasupra capului, coloana lombară intrînd într-o lordoză normală (fig. 95 f), apoi extinde genunchii cu o ușoară săritură (fig. 95 g). În final fixează bine picioarele pe sol și menține haltera ridicată (fig. 95 h).

Tehnica de ridicare respectă integral următoarele deziderate biomecanice și funcționale :

1. Distanța de la halteră față de corp rămîne întotdeauna minimă, cu excepția fazei finale. Aceasta face ca brațul de pîrghie al rezistenței să fie foarte redus, iar solicitarea coloanei vertebrale de asemenea.

2. Lordoza lombară se menține chiar în fazele de ridicare, deasupra capului, la valorile ei normale.

3. Restul coloanei vertebrale se menține rectilinie, deci discurile intervertebrale suportă o încărcare uniform repartizată.

4. Coloana vertebrală se fixează prin contracția întregului corset muscular, ceea ce pune în funcțiune presa musculară a trunchiului.

Respectîndu-se aceste condiții biomecanice și funcționale, cu toată solicitarea maximă a coloanei vertebrale în timpul ridicării halterelor, se previn accidentele de herniere a discurilor intervertebrale.

Aparatul ligamentar este alcătuit din două ligamente (ligamentul vertebral comun posterior și ligamentul vertebral comun anterior), care alcătuiesc două benzi ce se întind pe toată lungimea coloanei vertebrale.

1. *Ligamentul vertebral comun anterior* este aderent de corpurile vertebrale pînă la nivelul lamelor terminale și trece în punte peste discurile intervertebrale. Între ligament, marginea vertebrei și disc există un spațiu umplut cu țesut conjunctiv lax, dotat cu o vascularizație mai mult venoasă și terminațiuni nervoase senzitive. În acest spațiu, prin osificarea țesutului conjunctiv lax, apar *osteofitele coloanei vertebrale*, semnul radiologic caracteristic al *discartrozelor*. Ligamentul ver-

tebral comun anterior este pus în tensiune în timpul extensiei coloanei, pe care o limitează. *Iancu* (1947) a arătat că lăţimea ligamentului în diferitele segmente ale coloanei este direct proporţională cu rolul pe care-l are în limitarea mişcării de extensie.

2. *Ligamentul vertebral comun posterior* are o dispoziţie contrară şi anume se leagă intim de discurile intervertebrale şi trece în punte peste corpurile vertebrale. El este pus în tensiune în mişcarea de flexie a coloanei, mişcare pe care o limitează.

Articulaţiile apofizelor articulare. Sînt plane şi permit numai simpla alunecare a suprafeţelor articulare una pe cealaltă.

a) *Suprafeţele articulare* sînt date de apofizele articulare. Suprafeţele articulare ale corpului vertebral subiacent privesc oblic în sus şi înapoi, iar cele ale corpului vertebral supraiacent privesc oblic în jos şi înainte.

b) *Aparatul capsulo-ligamentar* este alcătuit dintr-o capsulă fibroasă subţire, întărită în regiunile dorsală şi lombară printr-un ligament posterior.

c) *Sinoviala* este foarte laxă şi prezintă şi unele prelungiri.

Dacă nucleul pulpos joacă rolul unei bile pe care corpii vertebrali se pot mişca, articulaţiile apofizelor articulare joacă rolul unor veritabili ghizi ai mişcărilor, limitînd deplasarea excesivă a vertebrelor. În poziţia stînd, aceste articulaţii preiau 20% din încărcătura vertebrală. Dar, în poziţia stînd cu trunchiul aplecat înainte, ele nu mai preiau nimic din încărcătura vertebrală, lăsînd întreaga sarcină exclusiv discurilor intervertebrale *(Nachemson)*.

Articulaţiile lamelor vertebrale. Între lamele vertebrale nu există propriu-zis articulaţii. Totuşi ele sînt unite prin nişte ligamente speciale, numite *ligamente galbene*, alcătuite din fascicule de fibre elastice, care prin structura lor permit apropierea şi depărtarea lamelor vertebrale una faţă de alta.

Articulaţiile apofizelor spinoase. Ca şi lamele vertebrale, apofizele spinoase sînt unite între ele prin două feluri de ligamente : *ligamentele interspinoase* şi *ligamentul supraspinos*. Primele se găsesc între două apofize spinoase, iar ultimul este un cordon ce se întinde pe tot lungul coloanei vertebrale. La nivelul regiunii cervicale, ligamentul supraspinos este deosebit de bine dezvoltat şi prin extremitatea lui proximală se inseră pe protu-

beranța occipitală externă. El ia numele de *ligament cervical posterior* și are rolul de a menține pasiv capul și gîtul de a nu se flecta înainte (vezi figura 104, 1).

Articulațiile apofizelor transverse. Apofizele transverse sînt unite prin *ligamentele intertransverse.*

Articulația occipito-atlantoidă este o diartroză bicondiliană.

a) *Suprafețele articulare* ale occipitalului sînt reprezentate de cei doi *condili occipitali,* care privesc în jos, înainte și în afară și au o formă convexă în toate sensurile.

Suprafețele articulare ale atlasului sînt reprezentate de cele două *cavități glenoide,* ce privesc în sus, înainte și înăuntru și au o formă concavă în toate sensurile (vezi figura 81, 4).

Toate aceste patru suprafețe articulare sînt acoperite de un strat subțire de *cartilaj hialin.*

b) *Suprafețele articulare* sînt unite între ele printr-o capsulă subțire, întărită de două ligamente, unul anterior și unul posterior.

SEGMENTUL MOTOR

La baza mobilității coloanei vertebrale stă ceea ce *Schmorl* a denumit „segmentul motor", alcătuit din discul intervertebral și ligamentele sale, găurile de conjugare, articulațiile interapofizare și apofizele spinoase cu ligamentele lor (fig. 96).

Segmentul motor poate fi împărțit într-un stîlp anterior și unul posterior. Stîlpul anterior este mai puțin mobil, mai solid, prezintă relativ rare inserții musculare și constituie elementul principal de susținere mecanică pasivă a coloanei. Stîlpul posterior prezintă numeroase inserții musculare și reprezintă elementul principal motor al coloanei vertebrale.

MUȘCHII COLOANEI VERTEBRALE

Mișcările coloanei vertebrale sînt produse de un mare număr de mușchi, care se inseră fie pe coloană, fie la distanță de ea, cum sînt unii mușchi ai gîtului și mușchii abdominali.

Mușchii gîtului. Dintre mușchii gîtului vom aminti 2 :

a) *Sternocleidomastoidianul* (fig. 97) este situat pe fața laterală a gîtului, pe sub mușchiul pielos al gîtului și îndreptat diagonal de sus în jos, dinapoi înainte și din afară înăuntru. Proximal, mușchiul se inseră pe apofiza mastoidă a osului temporal,

iar distal se inseră prin două capete : unul pe manubriul sternal — *capătul sternal* şi unul pe pătrimea internă a claviculei — *capătul clavicular.*

Luînd punct fix de inserţie pe capetele distale, sternocleidomastoidianul flectează capul pe coloană, îl înclină (apleacă) lateral de partea lui şi îl rotează îndreptînd bărbia în partea opusă.

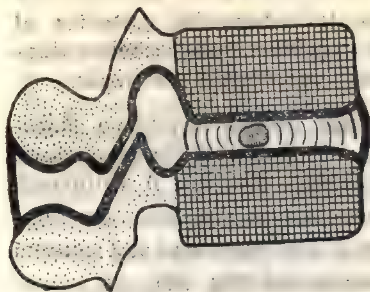


Fig. 96 — Reprezentarea schematică a „segmentului motor". Diferitele elemente constituente sînt trasate mai gros, stîlpul anterior este haşurat în pătrăţele, iar cel posterior este punctat.

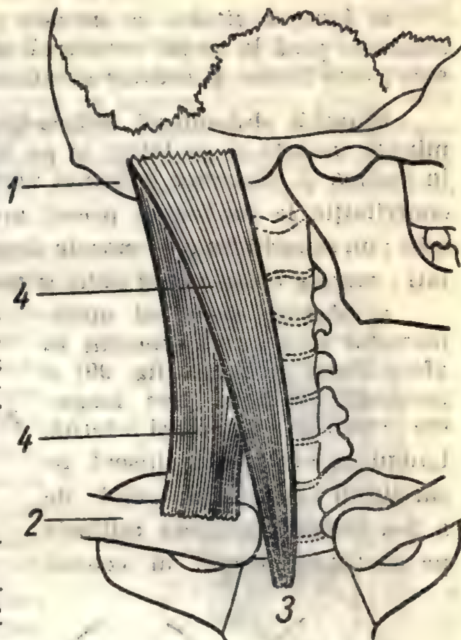


Fig. 97 — Muşchiul sternocleidomastoidian :
1 — apofiza mastoidă a temporalului, 2 — clavicula, 3 — stern, 4 — fascicul clavicular, 5 — fascicul sternal.

b) *Muşchii scaleni* se întind de la apofizele transverse ale ultimelor şase vertebre cervicale la primele două coaste. Sînt 3 muşchi scaleni : anterior, mijlociu şi posterior. Cînd iau punct fix de inserţie pe capetele distale, înclină (apleacă) de partea lor coloana vertebrală cervicală. Cînd iau punct fix de inserţie pe capetele proximale, devin muşchi inspiratori.

Muşchii prevertebrali sînt în număr de 3 şi se găsesc pe faţa anterioară a coloanei vertebrale.

a) *Dreptul anterior al capului* se inseră proximal pe osul occipital, înaintea gurii occipitale, se împarte în patru fascicule şi se inseră distal pe tuberculii anteriori ai vertebrelor cervi-

cale 3, 4, 5 şi 6. Muşchiul este un flexor al capului pe coloana cervicală şi al primelor vertebre cervicale pe celelalte.

b) *Micul drept anterior* al capului este situat imediat înapoia precedentului şi se inseră proximal pe osul occipital, înaintea găurii occipitale, iar distal, pe masele laterale şi pe apofizele transverse ale atlasului ; flectează capul pe coloana vertebrală.

c) *Lungul gîtului* se întinde de la tuberculul anterior al atlasului pînă la corpii vertebrali ai primelor trei vertebre dorsale ; este flexor şi rotator al coloanei vertebrale cervicale.

Muşchii abdominali antero-laterali închid cavitatea abdominală înainte şi pe laturi şi au un rol deosebit de important în statica şi dinamica coloanei vertebrale, aducînd o valoroasă contribuţie la realizarea presei musculare a acesteia. Se descriu : un muşchi lung — *marele drept al abdomenului* şi 3 muşchi laţi : *marele oblic, micul oblic şi transversul* (fig. 98).

a) *Marele drept al abdomenului* este situat imediat în afara liniei mediane (fig. 99) şi prezintă proximal trei languete : externă, mijlocie şi internă. Langueta externă se inseră pe cartilajul costal al celei de a 5-a coaste, langueta mijlocie pe cartilajul costal al coastei

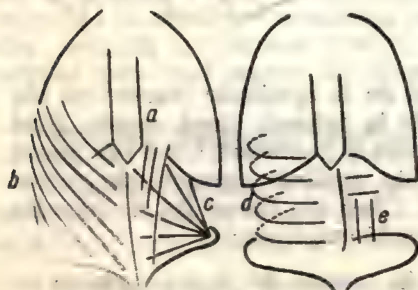


Fig. 98 — Direcţia fasciculelor musculare ale muşchilor abdominali :

a — drept anterior ; b — mare oblic ; c — mic oblic ; d — transvers ; e — pătrat lombar.

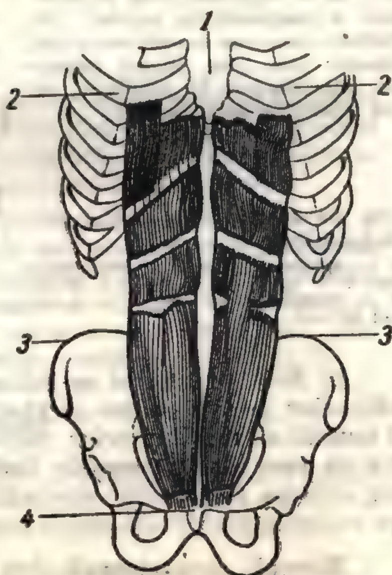


Fig. 99 — Muşchiul mare drept abdominal :

1 — stern ; 2 — cartilajul coastei a 6-a ; 3 — creastă iliacă ; 4 — pubis.

a 6-a, iar cea internă pe cartilajul costal al coastei a 7-a, pe ligamentul costo-xifoidian şi uneori chiar pe apendicele xifoid.

Aceste trei languete se unesc şi formează corpul muşchiului, care este aplatizat şi întrerupt din loc în loc de nişte benzi transversale aponevrotice — *intersecţiile aponevrotice*. Distal, muşchiul se inseră pe marginea superioară a corpului pubisului prin intermediul unui tendon lat de 2—3 cm.

Cînd îşi ia punct fix pe pubis, marele drept al abdomenului coboară coastele (este un muşchi expirator) şi flectează toracele pe bazin (este un flexor al coloanei vertebrale). Cînd îşi ia punct fix pe coaste, el flectează bazinul pe torace. Marele drept este deosebit de solicitat în exerciţiile pentru abdomen. Prin contracţia lui ajută, împreună cu ceilalţi muşchi abdominali, la comprimarea viscerelor şi expulzarea conţinutului acestora (micţiune, defecaţie, vome etc.).

b) *Marele oblic al abdomenului* (oblicul extern) este cel mai superficial muşchi lat abdominal (fig. 100). Se inseră proximal pe ultimele 7—8 coaste prin tot atîtea digitaţii, care, fiind dispuse una peste alta, dau aspectul unei linii dantelate. Aceste digitaţii se încrucişează ca două degete cu digitaţiile corespunzătoare ale muşchilor marele dinţat şi marele dorsal.

De la inserţiile superioare costale, marele oblic abdominal se răspîndeşte ca un mare evantai, îndreptîndu-se în jos, înainte şi înăuntru. Are trei grupe de fascicule: *posterioare*, dispuse vertical, *mijlocii*, dispuse oblic şi *anterioare* dispuse aproape orizontal.

Fasciculele posterioare, care pornesc de la ultimele coaste coboară spre bazin şi se inseră distal pe marginea externă a crestei iliace. Fasciculele mijlocii şi anterioare se continuă cu o

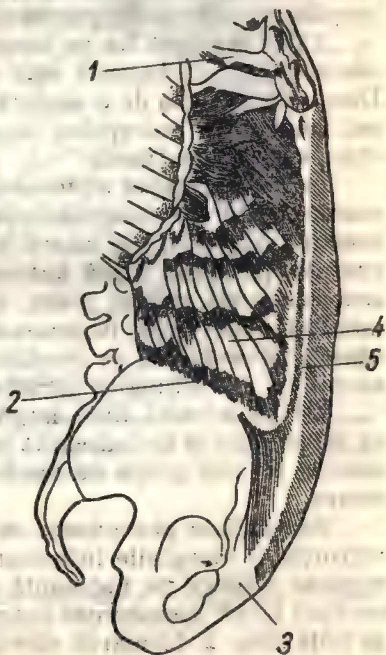


Fig. 100 — Muşchiul mare oblic abdominal:
1 — coasta a 5-a; 2 — creasta iliacă; 3 — pubis; 4 — marele oblic; 5 — aponevroza marelui oblic.

aponevroză largă — *aponevroza marelui oblic* — și se inseră distal pe spina iliacă antero-superioară, pe marginea anterioară a osului coxal, pe pubis și pe linia albă. Inserția marelui oblic pe linia albă se face după ce aponevroza trece prin fața marelui drept abdominal. La nivelul liniei albe, fibrele aponevrozei marelui oblic abdominal se încrucișează cu cele ale mușchiului omolog de partea opusă. Dealtfel, linia albă nu este altceva decît o bandă conjunctivă rezistentă (rafeu fibros), care se întinde pe linia mediană de la pubis la apendicele xifoid, și rezultă din încrucișarea aponevrozelor mușchilor largi ai abdomenului.

Cînd ia punct fix pe bazin și se contractă de ambele părți, marele oblic abdominal coboară coastele (este deci un mușchi expirator), flectează toracele pe bazin (este deci și un flexor al coloanei vertebrale) și comprimă viscerele abdominale, ca și marele drept. Cînd se contractă de o singură parte, este un rotator al coloanei vertebrale, îndreptînd fețele anterioare ale corpilor vertebrali de partea opusă mușchiului care se contractă.

Cînd ia punct fix pe torace și se contractă de ambele părți, marele oblic abdominal este un flexor al bazinului pe torace. Dacă se contractă de o singură parte, el este un rotator al coloanei vertebrale, îndreptînd fața anterioară a bazinului spre mușchiul care se contractă.

c) *Micul oblic al abdomenului* (oblicul intern) este situat sub marele oblic, dar fasciculele lui sînt orientate invers față de ale acestuia (fig. 101). Se inseră distal pe treimea externă a arcadei crurale, pe spina iliacă antero-superioară, pe cele două treimi anterioare ale crestei iliace, iar prin *aponevroza posterioară a micului oblic* (care fuzionează cu aponevroza marelui dorsal) ajunge să se insere pe apofizele transverse ale primei vertebre sacrate și ale ultimelor vertebre lombare.

De pe această linie largă de inserție mușchiul se desface ca un evantai și se îndreaptă în sus, înainte și înăuntru. I se pot descrie tot trei grupe de fascicule : posterioare, mijlocii și anterioare.

Fasciculele posterioare se îndreaptă aproape vertical către vîrfurile și marginile inferioare ale ultimelor 3—5 coaste. Fasciculele mijlocii se îndreaptă oblic și se termină printr-o aponevroză largă, *aponevroza anterioară a micului oblic*, care ajunge la linia albă, la formarea căreia participă. Fasciculele anterioare se îndreaptă aproape orizontal și se inseră pe pubis.

Acțiunea micului oblic este asemănătoare celei a marelui oblic ; cînd însă se contractă de o singură parte, rotează coloana vertebrală de partea mușchiului care se contractă.

d) *Transversul abdomenului* este alcătuit din fascicule dispuse orizontal (fig. 102). Acestea pornesc de la ultimele coaste, apofizele transverse ale coloanei lombare, marginea internă a crestei iliace și treimea externă a arcadei crurale. Anterior, ele

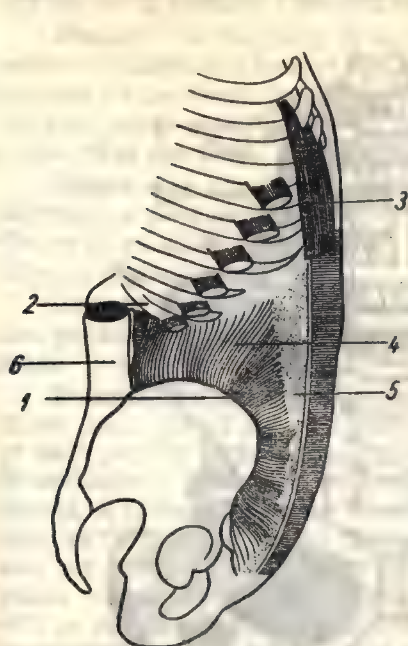


Fig. 101 — Mușchiul mic oblic abdominal :

1 — creasta iliacă ; 2 — coasta a 12-a ; 3 — marele drept abdominal ; 4 — micul oblic ; 5 — aponevroza anterioară a micului oblic ; 6 — masa sacro-spinală.

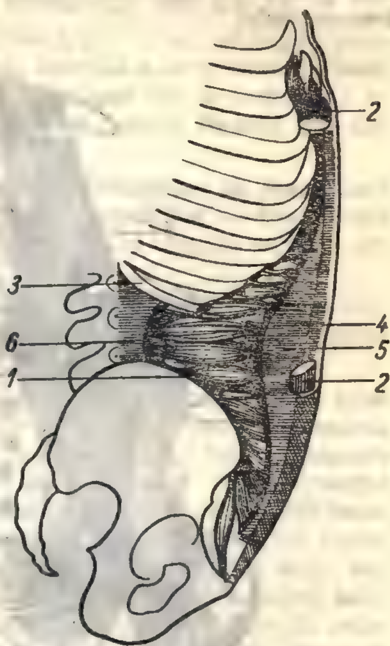


Fig. 102 — Mușchiul transvers al abdomenului :

1 — creasta iliacă ; 2 — marele drept anterior secționat ; 3 — coasta a 12-a ; 4 — mușchiul transvers ; 5 — aponevroza anterioară a transversului.

alcătuiesc o aponevroză largă, ce se inseră pe linia albă, la formarea căreia participă.

Rolul principal al transversului este de a comprima viscerele abdominale pe coloana vertebrală. În secundar, acționează ca mușchi expirator.

Mușchii lombo-iliaci sînt considerați tot mușchi abdominali, deoarece închid posterior cavitatea abdominală. Acești

mușchi se întind între coloana lombară și osul iliac și sînt în număr de 2 : *pătratul lombelor* și *psoasul iliac*.

a) *Pătratul lombelor* este un mușchi plat, de formă pătrată, situat pe laturile coloanei lombare (fig. 103, 3). Este alcătuit din trei grupe de fascicule : *ilio-costale, ilio-transversale* și *costo-transversale*.

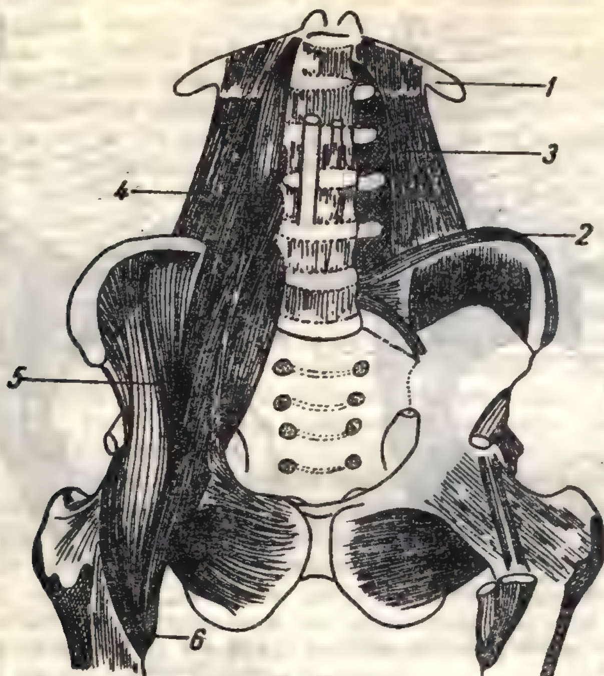


Fig. 103 — **Mușchii lombo-iliaci :**
1 — coasta a 12-a ; 2 — creasta iliacă ; 3 — pătrat lombar ; 4 — psoas ; 5 — iliac ; 6 — mic trohanter.

Fasciculele ilio-costale, cele mai lateral situate, sînt verticale și se întind de la coasta a 12-a la creasta iliacă. Fasciculele ilio-transversale sînt oblic ascendente și se întind de la creasta iliacă la apofizele transverse ale primelor două sau trei vertebre lombare. Fasciculele costo-transversale sînt oblic descendente și se întind de la coasta a 12-a la apofizele transverse ale ultimelor două sau trei vertebre lombare.

Cînd ia punct fix pe creasta iliacă, pătratul lombelor este un coborîtor al ultimei coaste (este, deci, un mușchi expirator) și

înclină coloana lateral, de partea muşchiului care se contractă. Cînd ia punct fix pe torace, el înclină bazinul lateral pe torace.

b) *Psoasul iliac*, situat în partea posterioară a abdomenului, în fosa iliacă internă şi în partea anterioară a coapsei, este alcătuit din două porţiuni : *psoasul* şi *iliacul* (fig. 103, 4 şi 5).

Psoasul este fuziform şi se inseră proximal pe suprafeţele osoase ale unghiului format din faţa laterală a corpilor vertebrali lombari cu apofizele lor transverse. Corpul lui se îndreaptă în jos şi în afară şi se uneşte cu tendonul comun format atît din psoas, cît şi din iliac.

Iliacul este dispus ca un evantai desfăşurat în fosa iliacă internă, pe care se inseră proximal. Corpul lui se îngustează din ce în ce şi se inseră distal pe tendonul comun format din psoas şi iliac.

Ambele porţiuni ale psoasului iliac se inseră prin acest tendon pe micul trohanter al extremităţilor superioare ale femurului.

Psoasul iliac are acţiuni complexe : cînd se contractă în totalitate, luînd punct fix pe inserţiile proximale, flectează coapsa pe bazin, dar în acelaşi timp imprimă coapsei şi o uşoară mişcare de adducţie şi de rotaţie externă ; cînd ia punct fix pe inserţia distală, el flectează coloana vertebrală şi bazinul pe coapsă (este, deci, un flexor al coloanei) ; cînd se contractă de o singură parte, este tot flexor al trunchiului pe bazin, dar în acelaşi timp imprimă coloanei vertebrale o mişcare de înclinare (îndoire) laterală de partea muşchiului care se contractă şi o mişcare de rotaţie de partea opusă (este deci şi înclinator şi rotator al coloanei).

Cele două porţiuni ale psoasului iliac au acţiuni diferite, iliacul conferindu-i forţa de acţiune, iar psoasul amplitudinea de acţiune.

Psoasul iliac este unul din cei mai importanţi muşchi în statica şi dinamica trunchiului. Împreună cu muşchii abdominali, cu muşchii spatelui şi cu muşchii ischio-gambieri, psoasul iliac asigură echilibrul trunchiului pe coapsă.

Muşchii posteriori ai coloanei vertebrale sînt reprezentaţi de un număr mare de muşchi, de forme foarte variate (fig. 104). Ne vom limita să descriem numai pe cei mai importanţi.

a) *Trapezul* — cel mai superficial dintre muşchii spatelui — este lat şi are o formă triunghiulară (fig. 104, 4). Prin baza lui se inseră pe linia mediană de la protuberanţa occipitală externă,

pe ligamentul cervical posterior și pe apofizele spinoase ale vertebrelor cervicale inferioare și ale vertebrelor dorsale. Corpul mușchiului prezintă trei grupe de fascicule : *superioare* (oblice în jos și în afară), *mijlocii* (transversale) și *inferioare* (oblice în sus și în afară).

Prin vîrful lui, trapezul se inseră pe cele două oase ale centurii scapulare ; fasciculele superioare se inseră pe fața superioară și marginea posterioară a claviculei. Fasciculele mijlocii se inseră pe marginea posterioară a acromionului și a spinei omoplatului ; fasciculele inferioare se inseră pe partea internă a spinei omoplatului.

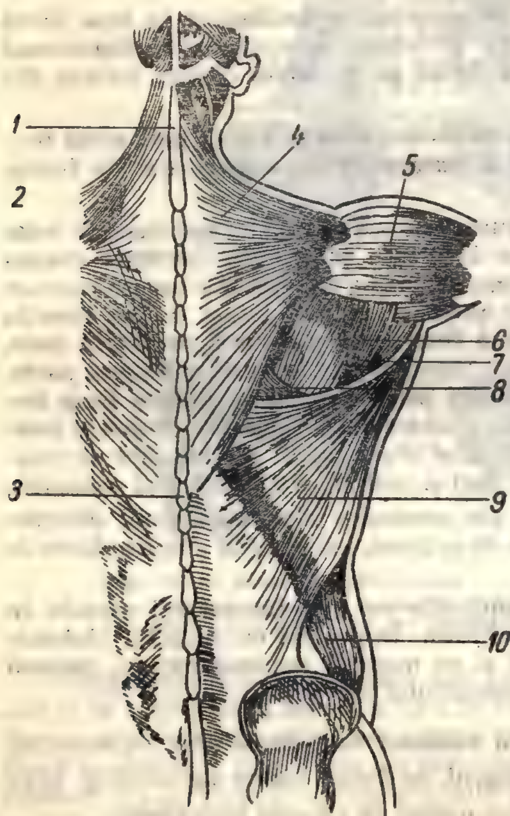


Fig. 104 **— Mușchii spatelui :**

1 — ligament cervical posterior ; 2 — proeminenta ; 3 — apofiză spinoasă D_{12} ; 4 — trapez ; 5 — deltoid ; 6 — subspinos ; 7 — mic rotund ; 8 — romboid ; 9 — mare dorsal ; 10 — oblic mare.

Acțiunea trapezului, dată fiind structura lui, este complexă. Cînd ia punct fix pe inserția sa vertebrală, mobilizează centura scapulară și umărul, ridicîndu-le și apropiind omoplatul de coloană. Cînd ia punct fix pe inserția scapulară, acțiunile trapezului sînt diferite după fasciculele care intervin. Fasciculele superioare înclină (apleacă lateral) capul de partea mușchiului și îl rotează de partea opusă, iar fasciculele mijlocii înclină (apleacă lateral) coloana cervicală de partea mușchiului. Fasciculele inferioare intervin atunci cînd in-

dividul se cațără sau se găsește în poziția atîrnat. Prin contracția lor, coloana dorsală este înclinată spre omoplatul de aceeași parte.

b) *Marele dorsal*, ca și trapezul, este tot un mușchi plat și triunghiular, dar prin baza lui se inseră pe fața externă a ultimelor 4 coaste, pe apofizele spinoase ale ultimelor vertebre dorsale și lombare și pe buza externă a crestei iliace (fig. 105). Fas-

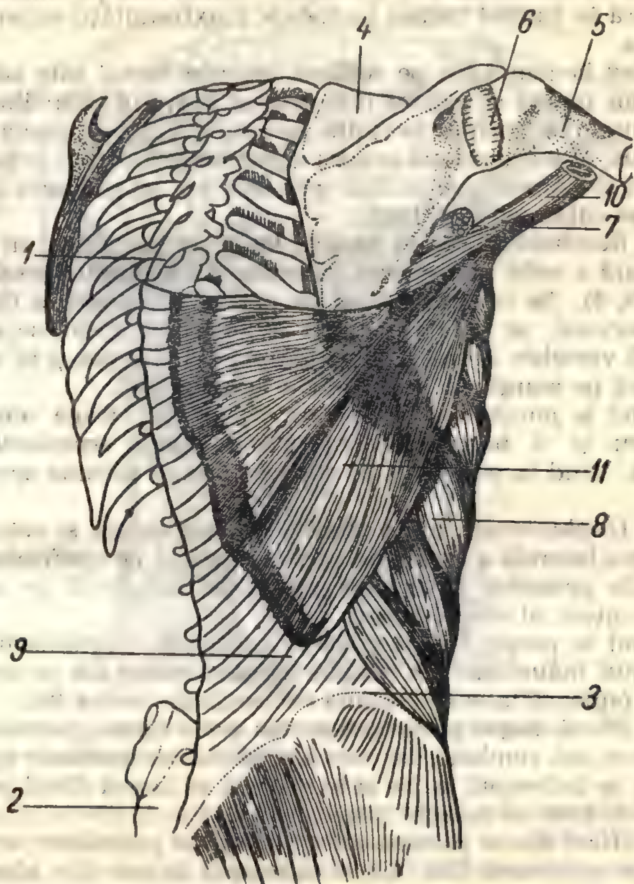


Fig. 105 — Mușchiul mare dorsal :

1 — apofiză spinoasă D_6 ; 2 — sacru ; 3 — creastă iliacă ; 4 — omoplat ; 5 — humerus ; 6 — articulațiile scapulo-humerale ; 7 — mic rotund secționat ; 8 — mare oblic cu digitațiuni ; 9 — aponevroză lombară ; 10 — tendon mare dorsal ; 11 — mare dorsal.

ciculele care se inseră pe fața externă a ultimelor coaste reprezintă digitațiile marelui dorsal și se încrucișează cu digitațiile marelui oblic (fig. 105, 8).

Ca și trapezul, de pe această bază largă de inserție corpul muscular prezintă trei grupe de fascicule : *superioare* (orizontale), *mijlocii* (oblice în sus și în afară) și *inferioare* (verticale), Toate aceste trei fascicule converg spre un tendon comun, care, după ce se răstoarnă 180°, ocolește humerusul pe dinăuntru și se inseră în fundul culisei bicipitale a extremității superioare a acestuia.

Cînd ia punct fix pe coloană, marele dorsal este adductor, proiector înapoi și rotator înăuntru al brațului (contribuie deci la menținerea poziției brațului în stînd). Cînd ia punct fix pe humerus, el tracționează asupra coastelor (este și un mușchi expirator) și asupra trunchiului spre braț (ca în mișcarea de atîrnare sau cățărare) (fig. 106).

c) *Romboidul* este un mușchi lat și subțire, situat în partea, inferioară a cefei și în partea superioară a regiunii dorsale (vezi fig. 104, 8). Se inseră median pe partea inferioară a ligamentului cervical, pe proeminența și pe apofizele spinoase ale primelor 5 vertebre dorsale. Se îndreaptă oblic în jos și în afară și se inseră pe marginea vertebrală a omoplatului.

Cînd ia punct fix pe coloană romboidul trage omoplatul înăuntru și îl basculează, apropiind vîrful omoplatului de coloană ; cînd ia punct fix pe omoplat, trage coloana spre omoplat.

d) *Unghiularul* are o formă triunghiulară și este situat pe partea laterală a cefei. Se inseră proximal pe apofizele transverse ale primelor 5 vertebre cervicale, iar distal pe unghiul supero-intern al omoplatului.

Cînd ia punct fix pe coloana cervicală, unghiularul trage omoplatul înăuntru și în sus, iar cînd ia punct fix pe omoplat, înclină (apleacă lateral) coloana cervicală de partea lui.

e) *Micul dințat postero-superior* are o formă patrulateră și este situat sub romboid. Se inseră proximal pe apofizele spinoase C_5—D_3, se îndreaptă în jos și în afară și se inseră distal pe coastele 2—5. Este un mușchi inspirator.

f) *Micul dințat postero-inferior* este tot patrulater, se inseră distal pe spinoasele D_{11}—L_3, se îndreaptă în sus și în afară și se inseră proximal pe ultimele 4 coaste. Este tot un mușchi inspirator.

g) *Mușchii cefei*, situați sub trapez, romboid și micul dințat și deasupra unghiularului și apofizelor transverse ale coloanei

cervicale, sînt în număr de 8 : *splenius, marele complex, micul complex, transversul gîtului, marele drept* şi *micul drept posterior al gîtului, marele oblic* şi *micul oblic posterior ai gîtului.* Prin acţiunea lor combinată contribuie la efectuarea mişcărilor de extensie, de înclinaţie laterală şi de rotaţie a capului.

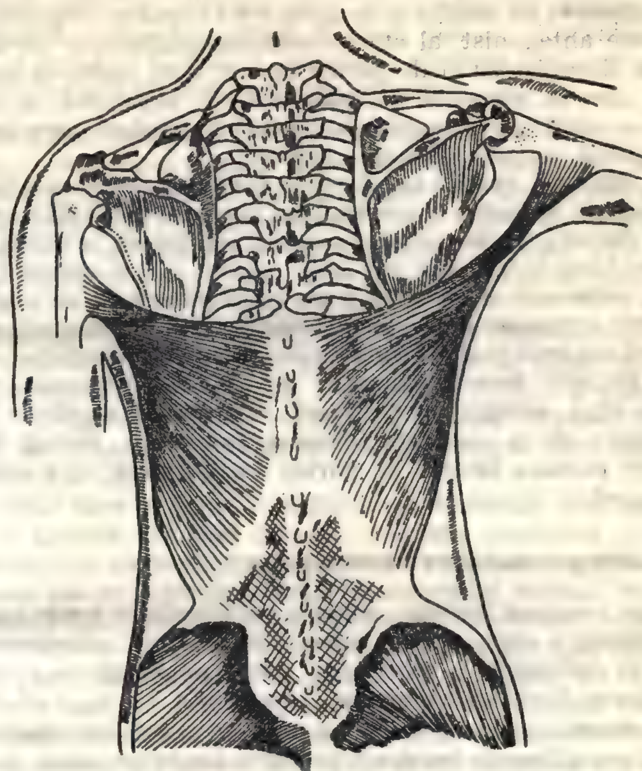


Fig. 106 — Cei doi muşchi mari dorsali şi aponevroza lombară.

Dintre aceşti muşchi, cel mai important este *muşchiul splenius*. Este situat pe toată lungimea cefei şi a regiunii toracice superioare, sub trapez, romboid şi micul dinţat postero-superior. Se inseră distal pe jumătatea inferioară a ligamentului cervical posterior şi pe apofizele spinoase ale primelor 5 vertebre dorsale, se îndreaptă în sus şi în afară şi proximal se împarte în două porţiuni : una medială voluminoasă, care se inseră pe occi-

pital și pe apofiza mastoidă *(spleniusul capului)* și una laterală, mai puțin voluminoasă, care se inseră pe apofizele transverse ale atlasului și axisului *(spleniusul gîtului)*.

Cînd ia punct fix distal, dacă se contractă de ambele părți, spleniusul este extensor al capului ; dacă se contractă de o singură parte, apleacă și rotează capul de partea sa. În ceea ce privește mișcarea de rotație și de aplecare a capului, mușchiul splenius este antagonist al sternocleidomastoidianului de aceeași parte și sinergist cu el de partea opusă. Vom vedea că în mers, și mai ales în alergare, el realizează — împreună cu marele dințat — unul din principalele lanțuri musculare care intervin în propulsia încrucișată a membrelor.

h) *Mușchii spinali* se găsesc în șanțurile vertebrale formate din apofizele spinoase și coaste. Sînt în număr de 3 *(ilio-costalul, lungul dorsal* și *spino-transversalul)* și alcătuiesc, la nivelul regiunii lombare inferioare, un corp comun *(sacro-spinalul)*. Sînt mușchi extensori ai coloanei și au rolul important de a menține echilibrul extrinsec al acesteia. Datorită poziției ortostatice, omul prezintă cea mai înaltă formă de dezvoltare a mușchilor spinali.

i) *Mușchii intertransversali* și *mușchii interspinoși* sînt mușchi mici, subțiri, patrulateri, care unesc apofizele transverse între ele și apofizele spinoase între ele. Primii înclină (îndoaie) coloana lateral de partea lor, secunzii sînt extensori ai coloanei.

STATICA COLOANEI VERTEBRALE

Cum remarcă *Zațepin*, coloana vertebrală se poate compara cu un catarg a cărui poziție corectă depinde de întinderea parîmelor. O deficiență a parîmelor poate să constituie o cauză a devierii sau frîngerii catargului.

Curburile coloanei. În ortostatism și în repaus coloana vertebrală are o direcție verticală și o formă ușor sinuoasă, mai ales în plan sagital. În fizică este cunoscut faptul că o coloană elastică cu curburi oferă o rezistență mai mare la presiunile verticale decît o coloană perfect rectilinie. Curburile atenuează șocurile verticale și favorizează menținerea echilibrului coloanei pe bazin, ușurînd eforturile centurii musculare a coloanei. Această atitudine și formă se mențin grație jocului tonicității musculare, elasticității ligamentelor și discurilor, precum și datorită îmbinării anatomice a celor 24 segmente osoase din care este compusă coloana vertebrală, segmente care își adaptează unul altuia diferitele suprafețe articulare.

Atitudinea coloanei vertebrale depinde şi de vîrstă, sex, profesie, stare de oboseală etc. Copilul mic, la patru luni, îşi poate menţine capul singur, dar îşi ridică trunchiul şi poate şedea numai dacă este susţinut, coloana vertebrală rămînînd în întregime flectată înainte în plan sagital. Contractarea maselor muşchilor lombari nu se face decît într-un grad foarte redus. Atitudinea *cifotică* dispare abia către sfîrşitul primului an, cînd copilul începe să meargă, şi cînd, pentru păstrarea echilibrului în staţiune bipedă se instalează curbura lombară cu convexitatea înainte *(lordoza compensatorie).*

Echilibrul intrinsec. În staţiune verticală la adult, linia gravităţii trece prin tragus, deci înaintea articulaţiei atlanto-occipitale, prin partea anterioară a umărului, uşor posterior faţă de linia imaginară care uneşte cele două capete femurale, prin mijlocul feţei externe a marelui trohanter, anterior axei transversale a articulaţiei genunchiului şi puţin posterior celei tibiotarsiene.

Datorită curburilor coloanei, proiecţia centrelor de greutate a diferitelor segmente nu se găseşte pe linia proiecţiei centrului general de greutate a corpului. Acţiunea gravitaţiei produce de la vertebră la vertebră solicitări rotaţionale, care tind să accentueze curburile şi trebuie neutralizate, deoarece altfel coloana s-ar prăbuşi.

Forţele care se opun solicitărilor rotaţionale sînt ligamentele. La nivelul coloanei dorsale proiecţia centrului de greutate a corpului trece anterior coloanei. Aceasta s-ar prăbuşi înainte dacă nu ar interveni forţa ligamentului comun vertebral posterior, a ligamentelor interspinoase şi a ligamentelor galbene. Situaţia este inversă la nivelul coloanei lombare şi a celei cervicale ; proiecţia centrului de greutate trece posterior coloanei, iar forţele care se opun prăbuşirii sînt reprezentate de rezistenţa ligamentului comun vertebral anterior. Ligamentele vertebrale au, deci, rolul de a absorbi o bună parte din solicitări.

Alte elemente care au rolul de a absorbi solicitările sînt discurile intervertebrale. Ele nu stau în tensiune, ca ligamentele, ci sub presiune. Între aceste două categorii de elemente anatomice, ligamentele de o parte şi discurile de alta, supuse unor forţe contrare, se stabileşte o anumită stare de echilibru, denumită de *Steindler : echilibru intrinsec.* Relaţiile dintre cele două forţe se pot transcrie în următoarea formulă :

$$\text{Echilibrul intrinsec} = \frac{\text{Rezistenţa elastică la tensiune a ligamentelor}}{\text{Rezistenţa elastică la presiune a discurilor}}$$

15 — Anatomia funcţională şi biomecanica aparatului locomotor — cd. 271

Existența acestui echilibru intrinsec explică de ce o coloană vertebrală, chiar dacă i se scot toți mușchii, rămîne o unitate destul de rigidă și continuă să-și păstreze curburile. Dar dacă se separă printr-o secțiune lungă frontală partea anterioară a coloanei, alcătuită din șirul corpurilor și discurilor vertebrale, de partea posterioară a coloanei, alcătuită din șirul arcurilor vertebrale și ligamentele posterioare, această ultimă parte se prăbușește imediat, deoarece echilibrul intrinsec a fost anihilat.

Echilibrul extrinsec. În afara echilibrului intrinsec, coloana dispune — după cum am văzut — de un mare număr de grupe musculare care prin tonicitatea lor îi asigură și un echilibru extrinsec — *corsetul muscular*.

Tipurile de ținută. Echilibrul coloanei vertebrale nu se realizează în același mod la toți indivizii normali. Aceasta face ca ținuta coloanei vertebrale să difere de la individ la individ și ea trebuie pusă în legătură cu accentuarea sau diminuarea curburilor din planul antero-posterior, ca urmare a gradului de înclinare înainte a bazinului (fig. 107).

Staffel deosebește astfel cinci tipuri generale de ținută : 1. spatele normal, 2. spatele rotund, 3. spatele plat, 4. spatele concav-plat și 5. spatele concav-rotund.

1. Spatele normal este acela în care curburile vertebrale în sens antero-posterior prezintă o arcuire normală (fig. 107, a).

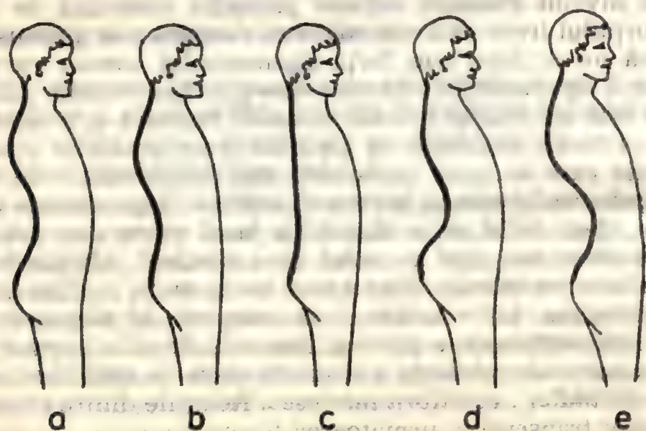


Fig. 107 — **Tipurile de ținută (după Staffel) :**
a — spate normal ; b — spate rotund ; c — spate drept ; d — spate concav-plat ; e — spate concav-rotund.

Este ținuta de „drepți ostășesc" sau de „drepți gimnastic", în care înclinarea bazinului este normală. Din profil, verticala care pleacă din punctul cel mai înalt al craniului trece prin dreptul canalului auditiv extern, taie în două marele trohanter, trece la nivelul genunchiului, în imediata apropiere a axei transversale biomecanice a acestei articulații și cade la picior, în articulația astragalo-scafoidiană. De față, verticala trece prin vîrful nasului, împarte sternul în două jumătăți, se suprapune simfizei pubiene și cade la mijlocul distanței dintre cele două plante. De spate, verticala trece prin „proeminenta", spinoasa C VII urmărește șirul apofizelor spinoase și șanțul fesier și cade la mijlocul distanței dintre cele două plante.

2. Spatele rotund este foarte frecvent. Convexitatea dorsală coboară și cuprinde și vertebrele lombare, concavitatea regiunii lombare se micșorează și ca întindere și ca profunzime (fig. 107, b). Bazinul este ușor înclinat înainte și în jos. Din profil, verticala trece prin spatele urechii și al marelui trohanter și cade în articulația astragalo-scafoidiană. Cum remarcă *Scheuermann*, spatele rotund apare în special la copiii care au făcut munci grele (de unde și numele ce se mai dă acestui tip de spate de „brick-carriers-back" sau „farmers back"). *Bonne* (1969) remarcă și el, cu ocazia activității depuse în cadrul unei comisii de recrutare, că spatele rotund este mult mai frecvent la tinerii care au muncit mai mult de trei ani în agricultură.

3. Spatele plat este mai puțin frecvent decît spatele rotund (fig. 107, c). Convexitatea dorsală și concavitatea lombară dispar, dar înclinarea bazinului se menține mică. Scapulele apar reliefate înapoi. Din profil, verticala trece prin conductul auditiv extern, marele trohanter și articulația astragalo-scafoidiană (deci ca în spatele normal). După *Staffel*, acest tip de spate este cel care produce scoliozele cu evoluția cea mai gravă.

4. Spatele concav-plat (sau lordotic) este și mai puțin frecvent (fig. 107, d). Concavitatea lombară se accentuează mult prin înclinarea puternică a bazinului înainte, în timp ce convexitatea dorsală dispare.

5. Spatele concav-rotund este cel mai puțin frecvent. (fig. 107, e). Concavitatea lombară se accentuează de asemenea mult, dar concomitent se accentuează și convexitatea dorsală.

A. B. Appleton (1946), continuînd observațiile lui *Staffel*, a studiat poziția bazinului în diferitele tipuri de postură. Pentru *Appleton*, tipul de postură este dependent de poziția a ceea ce el denumește „suportul pelvin" („pelvic carriage"), care poate

fi de trei tipuri : 1. suport pelvin neutru, 2. suport pelvin proiectat înainte şi 3. suport pelvin proiectat înapoi.

Suportul pelvin neutru este cel mai frecvent întîlnit. De profil, verticala atinge punctul cel mai posterior al occipitalului (O), punctul cel mai posterior al perimetrului toracic (Th), cade în punctul cel mai posterior al călcîielor (C). Punctul cel mai superior al plicei fesiere (S) se găseşte, faţă de această verticală, fie cu cel mult 25 mm înainte, fie cu 18 mm înapoi.

Dacă punctul superior al plicei fesiere (F) este situat cu peste 25 mm înaintea verticalei O. TH. C., avem de-a face cu un suport pelvin proiectat înainte (spatele rotund din tabelul lui *Staffel)* şi dacă punctul superior al plicei fesiere (F) este situat cu peste 18 mm înapoia verticalei O.Th.C., avem de-a face cu un suport pelvin proiectat înapoi (spatele concav-plat şi concav-rotund din tabelul lui Staffel).

Cramer (1958) mai apoi *Leger* (1959) şi *Bonne* (1969) au făcut o serie de determinări radiografice, stabilind de profil unghiul format de marginea anterioară a celei de a 5-a vertebre lombare şi a celei de a 12-a vertebre toracale, cu orizontala, observînd modificări practic neînsemnate ale acestor unghiuri, indiferent de tipul clinic de postură. S-a conchis astfel că coloana vertebrală trebuie considerată o unitate funcţională şi că fiecare tip de postură trebuie considerat ca o adaptare spontană la anumite condiţii deosebite de statică şi biodinamică.

BIODINAMICA COLOANEI VERTEBRALE

Mişcările coloanei, indiferent de amplitudinea lor, sînt mişcări complexe, în care intervin mai multe segmente vertebrale.

Ele se realizează prin cumularea uşoarelor deplasări ale corpurilor vertebrale, care au loc la nivelul discurilor intervertebrale, precum şi la nivelul articulaţiilor. Aceste mişcări sînt limitate de rezistenţa ligamentelor şi articulaţiilor intervertebrale şi de gradul de compresibilitate a ţesutului fibrocartilaginos din care este compus discul.

Micile deplasări intervertebrale sînt posibile numai graţie prezenţei nucleului pulpos, care trebuie să aibă o consistenţă, o formă şi o aşezare normale (*Calvé, Galiand, Lelièvre, Las Casas* etc.). Mişcările vertebrale se execută pe nucleul pulpos ca pe o axă (fig. 108), nucleul jucînd rolul unei adevărate bile mecanice (rulment). Se înţelege că pe o astfel de bilă toate mişcările sînt posibile ; totuşi, acestea sînt limitate ori călăuzite de

diferitele conformaţii şi poziţii ale apofizelor articulare, de ligamentele coloanei vertebrale şi de corsetul muscular al acesteia.

Ştim că nucleul pulpos, prin tensiunea lichidului care se află între elementele sale componente, are proprietatea de a fi elastic. Datorită acestei proprietăţi sînt posibile mişcările coloanei şi sînt înlăturate efectele dăunătoare ale presiunilor excesive

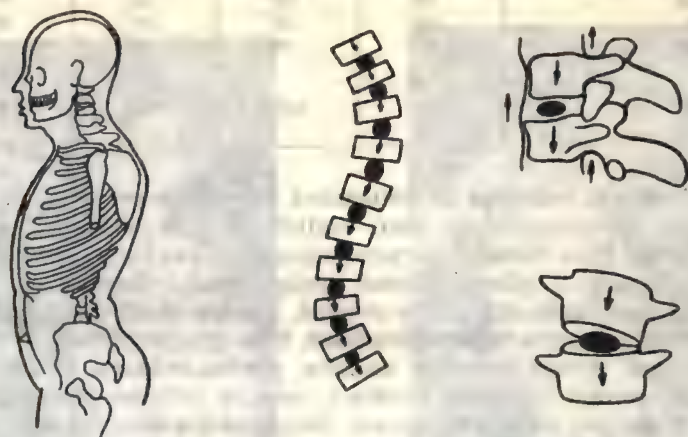


Fig. 108 — Proiecţia forţelor gravitaţionale în raport cu curburile coloanei. Rolul nucleului pulpos.

sau ale şocurilor suferite de rahis. Într-o atitudine de flexie forţată are loc o apropiere a corpurilor vertebrale — în partea lor anterioară — prin comprimarea parţială a discului în jumătatea lui anterioară şi prin împingerea uşoară a nucleului pulpos posterior. În extensie, lucrurile se petrec invers. Mişcările sînt posibile prin rolul integral pe care-l joacă discul intervertebral, care formează un organ unitar.

Lucrările efectuate de *Markolf* şi *Morris* (1974) au arătat în acest sens că dacă nucleul pulpos trebuie considerat rulmentul pe care se execută mişcările coloanei vertebrale, inelul fibros rămîne elementul cel mai important al discului intervertebral, care rezistă forţelor de compresiune şi de decompresiune.

Goniometrie. Coloana vertebrală prezintă mişcări complexe rezultate din micromişcările cumulate ale tuturor articulaţiilor intervertebrale : flexia, extensia, înclinarea laterală, rotaţia şi ca o rezultantă a acestora — circumducţia. Amplitudi-

nile medii normale, pe segmente şi în totalitate, sînt redate de următorul tabel reprodus după *Ivaniţki* :

Segmentul	Flexia	Extensia	Înclinarea	Rotaţia
Cervical	70°	60°	30°	75°
Dorsal	50°	55°	100°	40°
Lombar	40°	30°	35°	5°
TOTAL :	160°	145°	165°	120°

Flexia şi extensia se determină în poziţie ortostatică, plasîndu-se goniometrul în plan sagital, pe faţa laterală a trunchiului, cu baza distal şi perpendiculară pe axa lungă a coloanei. Nivelul unde se plasează baza goniometrului depinde de segmentul care urmează să fie studiat. Pentru studiul coloanei în totalitate şi pentru coloana lombară, baza goniometrului se aşază în dreptul primei vertebre sacrate, pentru coloana toracică în dreptul primei vertebre lombare, pentru coloana cervicală în dreptul primei vertebre toracale. Segmentul subiacent celui studiat trebuie fixat fie de un ajutor, fie de un dispozitiv special cu palete, care strînge lateral subiectul.

Indicatorul goniometrului este plasat vertical (la 90° pe semicercul gradat) şi urmăreşte flexia sau extensia, orientîndu-l cu vîrful spre prima vertebră a segmentului studiat. Cînd se determină amplitudinea coloanei în totalitate vîrful indicatorului va urmări articulaţia atlanto-occipitală.

Înclinarea laterală se determină în mod asemănător, dar goniometrul se va plasa frontal, pe faţa posterioară a trunchiului, cu baza distal şi perpendicular pe axa lungă a coloanei şi cu indicatorul orientat în poziţia de start, vertical.

Rotaţia se poate determina aşezînd subiectul în decubit ventral pe o masă, cu segmentul vertebral de studiat în afara planului mesei, iar celelalte segmente fixate la masă. Goniometrul se plasează în plan transversal, pe creştetul subiectului, perpendicular pe axa lungă a coloanei, cu baza în jos şi indicatorul la zenit, în dreptul şirului apofizelor spinoase. Prima apofiză spinoasă a fiecărui segment vertebral este reperată şi punctată cu creionul dermatograf.

Determinarea începe cu segmentul cervical, cel toracal, lombar, trenul inferior fiind fixat pe planul mesei. Indicatorul urmăreşte deplasarea apofizei spinoase a primei vertebre cervicale. Se trage apoi în afara planului mesei şi segmentul toracal, cel lombar şi trenul inferior rămînînd fixat pe planul mesei. Indicatorul urmăreşte deplasarea apofizei spinoase a primei vertebre toracale. În ultima etapă se trage tot trenul superior în





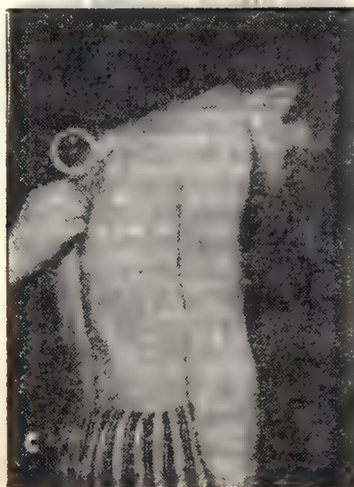




Fig. 109 — Goniometria coloanei vertebrale :
a — extensia coloanei cervicale ; b — flexia coloanei cervicale ; c — flexia coloanei dorsale ; d — flexia coloanei lombare.

afara planului mesei, rămînînd fixate la masă numai bazinul şi trenul inferior. Indicatorul urmăreşte pentru rotaţia coloanei lombare vîrful apofizei spinoase a primei vertebre lombare şi pentru rotaţia coloanei în totalitate, vîrful apofizei spinoase a primei vertebre cervicale.

Manevrele cu goniometrul clasic sînt relativ greoaie şi aprecierile comportă un coeficient important de relativitate. Preferăm, de aceea, să folosim hidrogoniometrul GEIGY (fig. 109).

Mişcarea de flexie. Sacrul fiind fixat, restul coloanei vertebrale poate executa în întregime o mişcare de flexie, dar nu toate segmentele participă în aceeaşi măsură. Amplitudinea cea mai mare în flexie se realizează la nivelul regiunii cervicale şi al celei lombare.

Arcul cu concavitatea anterioară pe care-l formează coloana nu este un arc de cerc, ci o linie curbă compusă din trei segmente, şi anume : unul cu raza mai mică, pe care îl formează coloana cervicală, unul cu raza mai mare care reprezintă coloana dorsală şi, în fine, unul cu raza mică — al regiunii lombare. În mişcarea de flexie maximă, linia transversală care prelungeşte planul axisului întretaie linia verticală într-un unghi de 140—160° (fig. 110).

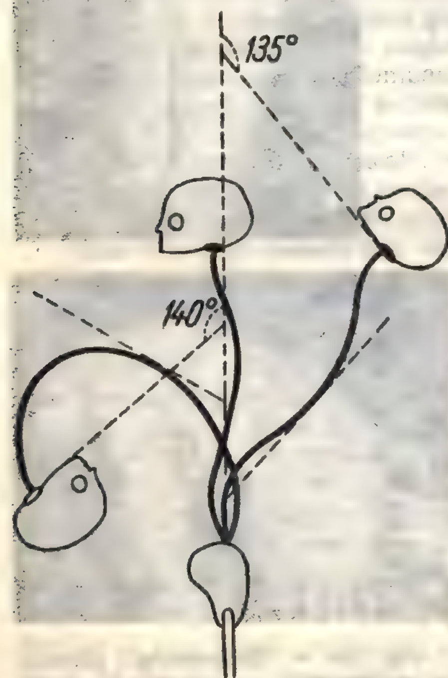


Fig. 110 — Amplitudinea mişcărilor de flexie-extensie ale coloanei vertebrale.

În mişcarea de flexie, porţiunea anterioară a discurilor intervertebrale este comprimată, în timp ce ligamentul vertebral comun posterior, ligamentele galgene, ligamentele interspinoase, ligamentul supraspinos şi muşchii spatelui sînt puşi sub tensiune.

În poziţia ortostatică muşchii care iniţiază mişcarea de flexie sînt cei ai

peretelui abdominal, mai ales dreptul abdominal şi cei doi oblici, psoasul iliac, precum şi muşchii subhioidieni, sternocleidomastoidianul. Odată iniţiată mişcarea, grupul antagonist al extensorilor coloanei intră în acţiune şi gradează flectarea trunchiului, învingînd forţele gravitaţionale.

Tabel recapitulativ al flexorilor coloanei

Denumirea	INSERŢIA	
	Proximală	Distală
Sternocleidomastoidian	Apofiză mastoidă	Stern. Claviculă
Drept anterior cap	Occipital	Vertebre C_3-C_7
Mic drept anterior cap	Occipital	Apofizele transvere ale atlasului
Lungul gîtului	Atlas	Vertebre D_1-D_3
Mare drept abdominal	Cartilaje costale 5, 6, 7	Corp pubis
Mare oblic abdominal	Ultimele 7—8 coaste	Marginea externă a crestei iliace ; spina iliacă antero-superioară ; pubis ; linia albă
Mic oblic abdominal	Ultimele 3—5 coaste ; linia albă ; pubis	Arcada crurală ; spina iliacă antero-superioară ; apofizele transverse lombo-sacrate
Psoas-iliac	Vertebre lombare ; fosa iliacă internă	Micul trohanter

Mişcarea de extensie. În poziţia ortostatică în extensie lucrurile se petrec exact invers. Muşchii şanţurilor vertebrale, deci muşchii extensori, sînt aceia care iniţiază mişcarea, care apoi este controlată de grupul anterior. Dacă mişcarea de extensie se realizează în poziţia de decubit ventral, extensorii continuă şi susţin mişcarea.

În regiunea lombară, extensia ajunge pînă la 30°, iar în cea dorsală pînă la 55° şi în cea cervicală pînă la 60°. *Diaconescu* şi *Veleanu* (1966) au arătat că în regiunea dorsală amplitudinea de extensie este diferenţiată în diversele ei porţiuni. În regiunea întinsă între D_1 şi D_5, înclinaţia apofizelor spinoase permite o extensie între 6 şi 11° ; în regiunea D_5—D_6 — o extensie de 2,5°,

apoi amplitudinea scade pînă la vertebra D_8, unde este de numai 1° sau chiar mai puțin ; începînd de la D_9—D_{10} amplitudinea crește de la 1—2°, ajungînd la nivelul D_{12} la valori de 12°.

În mișcarea de extensie porțiunile posterioare ale discurilor intervertebrale sînt comprimate, în timp ce ligamentul vertebral comun anterior este pus sub tensiune. Extensia este blocată în ultima fază de intrarea în contact a apofizelor articulare (vezi figura 95, c) și în ultimă instanță și a apofizelor spinoase.

Tabel recapitulativ al extensorilor coloanei

Denumirea	Inserția	
	Proximală	Distală
Spleniusul capului Spleniusul gîtului	Occipital ; apofiza mastoidă ; apofizele transverse ale atlasului și axisului	Ligament cervical posterior ; apofizele spinoase D_1—D_5
Mare complex		
Mic complex	—	—
Mare drept posterior al gîtului	—	—
Mic drept posterior al gîtului	—	—
Mare oblic posterior al gîtului	—	—
Mic oblic posterior al gîtului	—	—
Ilio-costal Lung dorsal } Sacrospinalul Spinotransversal		
Interspinoși	Apofiză spinoasă	Apofiză spinoasă

Mișcarea de inclinare (îndoire) laterală este de aproximativ 16,6° cu maximum de amplitudine în segmentul dorsal. Cînd are loc și un oarecare grad de răsucire a coloanei, atunci trunchiul se înclină și mai mult lateral.

Mușchii care fac înclinarea laterală sînt : pătratul lombar, psoasul, intertransversalii și dreptul lateral al capului. Contracția unilaterală a grupului flexor poate provoca, de asemenea, mișcarea. Mai pot interveni și mușchii șanțurilor vertebrale și în special sistemul transverso-spinos.

Tabel recapitulativ al mușchilor care înclină (îndoaie) lateral coloana

Denumirea	Inserția	
	Proximală	Distală
Sternocleidomastoidian	Apofiză mastoidă	Stern-claviculă
Scaleni	Apofize transverse cervicale	Coaste 1 și 2
Mușchii cefei care fac și extensie (+ transversalul gîtului)		
Trapez	Protuberanța occipitală externă; apofize spinoase cervico-dorsale	Claviculă; acromion; spină omoplat
Marele oblic abdominal	Ultimele 7—8 coaste	Marginea externă a crestei iliace; spina iliacă antero-superioară; pubis; linie albă
Mic oblic abdominal	Ultimele 3—5 coaste; linia albă; pubis	Arcada crurală; spina iliacă antero-superioară; apofize transverse lombo-sacrate
Pătrat lombar	Coasta a 12-a; apofize transverse $L_1—L_3$	Creastă iliacă
Psoas-iliac	Vertebre lombare; fosa iliacă internă	Mic trohanter
Intertransversali	Apofiză transversă	Apofiză transversă

Mişcarea de rotaţie. Rotaţia este maximă în regiunea cervicală, unde atinge 75°. Coloana dorsală se rotează puţin şi numai dacă se înclină şi lateral. În coloana lombară mişcarea de răsucire se execută, cînd coloana este în extensie, mai ales în segmentul dorso-lombar. Cînd coloana este flectată mişcarea de răsucire din segmentul lombar nu este posibilă, deoarece condilii vertebrelor sînt aşezaţi vertical în articulaţii şi opresc mişcarea. Din aceeaşi cauză, în flexie nu se poate face nici înclinarea laterală a segmentului lombar.

Răsucirea se execută prin oblicii abdominali şi prin intercostali, care acţionează folosind coastele drept pîrghii. Ei sînt ajutaţi de sistemul spino-transvers al muşchilor şanţurilor vertebrale. Răsucirea de aceeaşi parte se datoreşte marelui dorsal, spleniusului, lungului gîtului şi oblicului mic abdominal. Răsucirea de partea opusă se datoreşte spino-transversului şi marelui oblic abdominal.

Tabel recapitulativ al rotatorilor coloanei

a) Rotatori de partea muşchiului

Denumirea	Inserţia	
	Proximală	Distală
Lungul gîtului	Atlas	Vertebre D_1-D_3
Mic oblic abdominal	Ultimele 3–5 coaste; linia albă; pubis	Spina iliacă antero-superioară; apofize transverse lombo-sacrate
Spleniusul gîtului	Occipital; apofiza mastoidă; apofizele transverse ale atlasului şi axisului	Ligament cervical posterior; apofize spinoase D_1-D_5
Muşchii cefei		

b) Rotatori de partea opusă muşchiului

Denumirea	Inserţia	
	Proximală	Distală
Sternocleidomastoidian	Apofiză mastoidă	Stern-claviculă
Trapez	Protuberanţa occipitală; apofize spinoase cervico-dorsale	Claviculă; acromion; spina omoplatului
Muşchii cefei		
Mare oblic abdominal	Ultimele 7–8 coaste	Marginea externă a crestei iliace; spină iliacă antero-superioară; pubis; linie albă
Psoas-iliac	Vertebre lombare; fosă iliacă internă	Micul trohanter

BIOMECANICA ARTICULAŢIEI ATLANTO-AXOIDIENE

Mişcările care se realizează între atlas şi axis prezintă unele particularităţi, deoarece între aceste două vertebre nu există o articulaţie între corpii vertebrali. Atlasul nu are corp vertebral şi nici apofize articulare inferioare, acestea fiind reduse la nişte simple suprafeţe articulare, aflate pe feţele inferioare ale maselor lui laterale. Împreună cu acestea, apofizele articulare superioare ale axisului realizează *articulaţiile atlanto-axoidiene laterale,* articulaţii plane ca şi cele dintre apofizele articulare ale celorlalte vertebre.

Există, însă, în plus o articulaţie *atlanto-axoidiană mediană,* realizată din partea axisului de apofiza lui odontoidă, iar de par-

tea atlasului de un inel osteo-fibros, în care pătrunde apofiza odontoidă. Inelul osteo-fibros al atlasului este format înainte de arcul anterior, care prezintă pe fața lui posterioară o mică suprafață articulară, și înapoi de un ligament transvers ce se întinde între cele două mase laterale ale atlasului. Astfel realizată, articulația atlanto-axoidiană mediană este o articulație trohoidă.

La nivelul articulației atlanto-axoidiane se realizează numai mișcarea de rotație a capului. Axa în care se realizează mișcarea este verticală și ea se suprapune axei lungi a apofizei odontoide. În timpul mișcărilor de rotație a capului apofiza odontoidă rămîne pe loc, ca un pivot, în timp ce inelul osteo-fibros al atlantului se rotește în jurul ei. Pentru ca rotarea atlasului să fie posibilă, acesta alunecă pe fețele articulare axoidiene laterale. Cînd capul se rotește spre dreapta, fața articulară atlantoidă dreaptă alunecă înapoi pe fața articulară axoidiană dreaptă, a cărei jumătate posterioară o acoperă, dar în același timp fața articulară atlantoidiană stîngă alunecă înainte pe fața articulară axoidiană stîngă, acoperindu-i jumătatea anterioară.

Mișcarea de rotație permisă de complexul articular atlanto-axoidian este de numai 30° de o parte și 30° de cealaltă parte. Rotațiile de amplitudini mai mari se realizează prin participarea articulațiilor vertebrelor subiacente.

BIOMECANICA ARTICULAȚIEI OCCIPITO-ATLANTOIDIENE

Articulația occipito-atlantoidiană permite mișcări de flexie, extensie și de înclinare (aplecare) laterală a capului, dar nu permite mișcări de rotație.

Mișcările de flexie și extensie se realizează în jurul unei axe transversale ce trece prin partea superioară a cavităților glenoide ale atlasului, capul acționînd pe coloană ca o pîrghie de gradul I, în care sprijinul (S) este plasat între forța musculară (F), reprezentată de mușchii cefei, și rezistența (R), reprezentată de greutatea capului care tinde să cadă înainte (vezi fig. 57).

Amplitudinea de flexie a capului permisă în articulația occipito-atlantoidiană este de 20°, iar cea de extensie de 30°. Această amplitudine nu este suficientă decît pentru mișcările de cap, prin care se încuviințează sau se confirmă ceva. Mărirea amplitudinii în flexie și extensie este posibilă numai prin participarea vertebrelor subiacente.

Mușchii flexori sînt : marele și micul drept anterior ai capului și dreptul lateral al capului.

Mușchii extensori sînt : trapezul, spleniusul, marele complex, marele și micul drept posterior ai capului.

Mișcarea de înclinare (aplecare) laterală este limitată la numai 15° la nivelul articulației occipito-atlandoidiene și se realizează în jurul unei axe sagitale care trece prin fiecare condil occipital. Intervin ca mușchi motori pentru realizarea lor : trapezul, spleniusul, micul complex, sternocleidomastoidianul și dreptul lateral al gîtului.

TORACELE

Toracele este anexat părții superioare a coloanei vertebrale și realizează o cavitate (cavitate toracică), ce adăpstește viscere deosebit de importante (plămîni, inima, vase sanguine mari etc.).

SCHELETUL TORACELUI

Scheletul toracelui este format posterior din corpul celor douăsprezece vertebre dorsale, lateral din coaste și anterior din stern.

Coastele. În număr de 12 de fiecare parte, coastele sînt oase plate, alungite și curbate latero-anterior. Au forma aproximativă a unor arcuri de cerc și sînt formate dintr-o porțiune posterioară osoasă *(coasta vertebrală)* și una anterioară cartilaginoasă *(cartilajul costal).*

Primele 7 ajung la stern și se numesc *coaste sternale* sau *adevărate*. Ultimele 5 nu ajung la stern și se numesc *coaste asternale* sau *false*. Coastele 8, 9 și 10, deci primele trei coaste false, se articulează cu sternul prin intermediul *cartilajului costal* al coastei a 7-a. Coastele 11 și 12 nu se articulează cu sternul, rămîn deci libere și se numesc *coaste flotante.*

Coastele se implantează oblic prin capul lor pe corpii vertebrali și se îndreaptă în jos și în afară *(unghiul costo-vertebral).* Ele intră în contact prin tuberozitatea lor cu apofizele transverse și se încovoaie pentru a realiza arcul a cărui concavitate privește înăuntru, *curbura prin încovoiere*. Concomitent însă, coastele se și răsucesc în jurul axei lungi — *curbură de torsiune.*

Coastele vertebrale prezintă o extremitate posterioară, un corp și o extremitate anterioară (fig. 111).

Extremitatea posterioară prezintă un cap, prin care se articulează cu corpul vertebral, un gît și o tuberozitate care se articulează cu apofiza transversă.

Corpul este turtit, iar la marginea lui inferioară prezintă un şanţ, *şanţul costal*, în care se găsesc vasele şi nervul intercostal.

Extremitatea anterioară, uşor umflată, se termină cu o faţetă pe care se inseră cartilajul costal.

Cartilajele costale sînt alcătuite din cartilaj hialin şi au o formă asemănătoare coastelor, pe care le prelungesc. Primele 7 cartilaje se unesc cu sternul. Cartilajele 8, 9 şi 10 se unesc printr-o arcadă cartilaginoasă comună cu al 7-lea cartilaj costal. Cartilajele 11 şi 12 se pierd în muşchii largi ai abdomenului.

Sternul este un os plat, median şi simetric, situat la partea anterioară a toracelui, imediat sub piele, în dreptul primelor şapte coaste. El are forma unui pumnal de gladiator şi prezintă

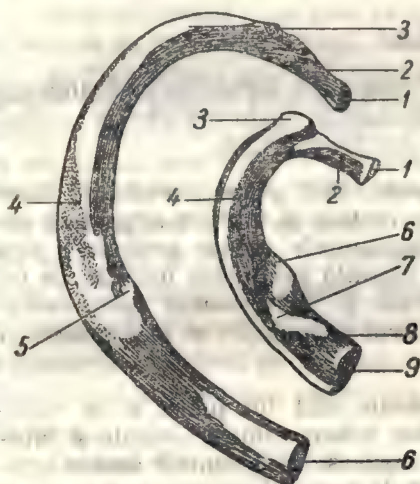


Fig. 111 — Prima şi a doua coastă văzute de sus :

1 — capul coastei ; 2 — gîtul coastei ; 3 — tuberozitate ; 4 — corp ; 5 — tuberculul pentru fascicului inferior al primei digitaţiuni a marelui dinţat.

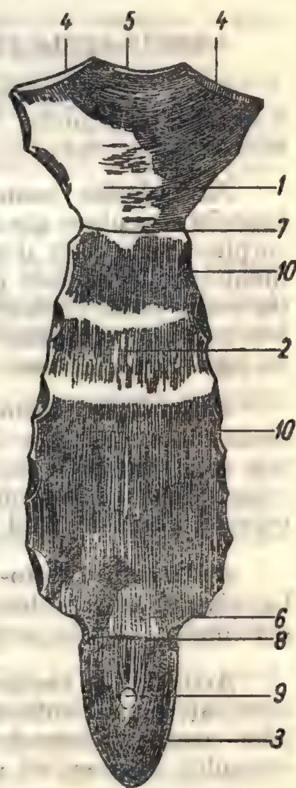


Fig. 112 — Sternul văzut din faţă :

1 — manubriu, 2 — corp, 3 — apendice xifoid, 4 — faţetă articulară pentru claviculă, 5 — furculiţă sternală, 6 — fosetă supraxifoidană, 7 — unghiul lui Louis, 8 — linia de unire dintre corp şi apendicele xifoid, 10 — suprafeţe articulare pentru cartilajele costale.

trei segmente : unul superior, *mînerul* sau *manubriul sternal*, unul mijlociu, *corpul sternului* şi unul inferior, *apendicele xifoid* (fig. 112).

Manubriul sternal prezintă la marginea lui superioară o scobitură mediană — *furculiţa sternală* şi două faţete articulare laterale — *faţetele claviculare*. Unirea manubriului cu corpul poate fi uneori mult reliefată înainte — *unghiul lui Louis*. La început s-a crezut că această proeminenţă ar fi un semn revelator al tuberculozei pulmonare. Astăzi se ştie că ea nu este decît rezultatul presiunii atmosferice asupra cavităţii toracice, presiune care pliază sternul în punctul lui de minimă rezistenţă (Braune). Corpul sternului prezintă pe marginile lui laterale cîte şapte *faţete articulare* pentru cartilajele costale.

Apendicele xifoid este mai totdeauna cartilaginos. Pe el se inseră extremitatea proximală a *liniei albe*.

ARTICULAŢIILE TORACELUI

Între diferitele segmente osoase ale toracelui se realizează o serie de articulaţii, ca : articulaţiile costo-vertebrale, costo-transversale, costo-condrale şi condro-sternale.

Articulaţiile costo-vertebrale sînt plane, realizate între faţetele articulare ale capetelor costale şi faţetele articulare ale corpilor vertebrali dorsali. Segmentele osoase articulare sînt menţinute în contact printr-o *capsulă periferică* întărită de un *ligament costo-vertebral anterior* şi un *ligament costo-vertebral posterior*. În plus, în interiorul articulaţiei se mai găseşte şi un ligament interosos.

Articulaţiile costo-transversale sînt tot plane şi se realizează între faţetele articulare ale tuberozităţilor costale şi faţetele articulare ale apofizelor transverse. Segmentele osoase articulare sînt menţinute în contact de patru *ligamente costo-transversale*, dispuse astfel : anterior, posterior, superior şi inferior.

Articulaţiile costo-condrale sînt articulaţii fixe (sinartroze). La nivelul lor, periostul coastelor vertebrale se continuă cu pericondrul cartilajului costal.

Articulaţiile condro-sternale sînt articulaţii plane, realizate între faţetele articulare ale extremităţilor anterioare ale cartilajelor costale şi faţetele articulare de pe marginile laterale ale sternului. Segmentele articulare sînt menţinute în contact de o

și altul *posterior*. În plus (exact ca și la articulațiile costo-vertebrale) se mai găsește în interiorul articulației și un *ligament interosos*.

MUȘCHII TORACELUI

Mușchii care acționează asupra segmentelor osoase toracice fac parte, din punct de vedere al anatomiei descriptive, din mai multe grupe, și anume din : grupa mușchilor abdominali, a mușchilor gîtului și a mușchilor toracelui. Mușchii gîtului au fost descriși la cap, iar mușchii abdominali la coloană și de aceea nu vom mai reveni asupra lor. Rămîne să descriem numai mușchii toracelui.

Mușchii toracelui se împart și ei în două categorii : *mușchii costali* și *mușchii toraco-brahiali*.

Mușchii costali deservesc exclusiv mișcările coastelor și sînt în număr de trei : *diafragmul, intercostalii* și *supracostalii*.

a) *Diafragmul* este un mușchi larg, dispus transversal, care separă trunchiul în cele două mari cavități ale sale : *cavitatea toracică* și *cavitatea abdominală*. Fiind convex la fața superioară, el are forma unei bolte — *bolta diafragmatică*. În expirație profundă diafragmul urcă pînă în dreptul coastelor 4 și 5.

Diafragmul are o structură caracteristică (fig. 113). În centru este format dintr-o aponevroză foarte rezistentă, de forma unei trefle, denumită *centru frenic*. De la această aponevroză pornesc radiar o serie de fascicule musculare, care se inseră de o manieră complexă pe primele trei vertebre lombare și de jur împrejurul segmentelor inferioare ale feței interioare a cavității toracice.

Centrul frenic aderă la *fața inferioară a pericardului*, iar pericardul se continuă în sus cu *ligamentul suspensor al inimii*. Centrul frenic rămîne astfel aproape imobil în timpul mișcărilor diafragmului.

Pe primele 3 vertebre diafragmul se inseră prin niște fascicule musculare organizate în cordoane, care iau numele de *stîlpii diafragmului*. De pe fața anterioară a vertebrelor pleacă *stîlpii principali*, de pe fața laterală a vertebrelor — *stîlpii accesorii*, iar de pe apofizele transverse — o serie de fibre tendinoase, care alcătuiesc *ligamentele centrate ale diafragmului*.

16 — Anatomia funcțională și biomecanica aparatului locomotor — cd. 271

Fasciculele cele mai mediane ale stîlpilor principali se încrucișează între ele pe linia medio-sagitală. Fasciculele cele mai interne ale stîlpilor accesorii se unesc cu cele ale stîlpilor principali. La partea lor externă, stîlpii accesorii alcătuiesc un fel

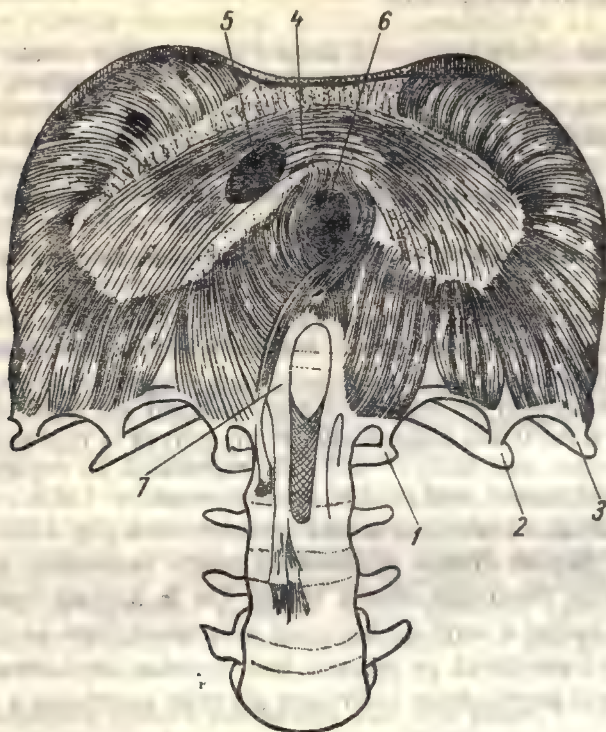


Fig. 113 — Mușchiul diafragm :

1 — prima vertebră lombară ; 2 — coasta a 12-a ; 3 — coasta a 11-a ; 4 — centru frenic ; 5 — orificiul venei cave inferioare ; 6 — orificiu esofagian ; 7 — orificiul aortic.

de arcadă, pe sub care trece partea superioară a psoasului — *arcada psoasului*.

Inserțiile torarice se fac pe fețele interne ale coastelor 7—12 și pe spațiile intercostale, pe fețele interne ale cartilajelor costale respective și anterior pe fața posterioară a apendicelui xifoid.

Bolta diafragmatică astfel inserată nu separă complet cavitatea toracică de cea abdominală. O serie de orificii asigură

comunicarea dintre cele două cavități. Prin aceste orificii trec esofagul — *orificiul esofagian,* aorta — *orificiul aortic,* vena cavă inferioară — *orificiul venei cave inferioare* precum și *marele simpatic, marele și micul nerv splanhnic* și *vena lombară ascendentă.*

Diafragmul ne apare astfel ca o boltă suspendată la mijlocul său, care în timpul mișcărilor respiratorii acționează numai prin fasciculele sale arciforme. Cînd diafragmul se contractă, fasciculele lui devin aproape rectilinii, mărindu-se astfel diametrul vertical al cavității toracice. Fasciculele costale ale diafragmului, care se inseră pe coaste la un nivel mai jos decît centrul frenic, ridică prin contracția lor coastele, mărind astfel și diametrul transversal al cavității toracice.

Mișcările diafragmului se pot schematiza în trei timpi *(L. Barnier).* În *primul timp,* fibrele mușchiului sînt relaxate și centrul frenic atinge cel mai înalt nivel — expirația. În *al doilea timp,* stîlpii se contractă și centrul frenic este ușor tras în jos — începutul inspirației. În *al treilea timp,* fibrele anterioare și laterale se contractă, centrul frenic rămîne imobilizat — inspirație completă.

b) *Mușchii intercostali* sînt situați între marginea inferioară a coastei supraiacente și marginea superioară a coastei subiacente. Se descriu trei categorii de mușchi intercostali : externi, mijlocii și interni. Fasciculele intercostalilor externi sînt orientate de sus în jos și dinapoi-înainte. Fasciculele intercostalilor interni sînt orientate de sus în jos și dinainte-înapoi și, după ce tapisează fața internă a coastelor subiacente, se inseră pe marginea ei inferioară.

Rolul intercostalilor a fost mult discutat, considerîndu-se că ei sînt fie inspiratori, fie expiratori, sau și una și alta. La ora actuală se consideră că, din punct de vedere funcțional, intercostalii au un rol modest, constituind doar niște pereți elastici ai cavității toracice. Reamintim însă rolul pe care ei îl au în mișcările de rotație ale coloanei vertebrale.

c) *Mușchii supracostali* sînt 12 perechi de mușchi mici, de formă triunghiulară, dispuși oblic în jos și în afară, de la vîrful apofizelor transverse la fața posterioară a extremității posterioare a coastelor subiacente. Sînt mușchii inspiratori.

Mușchii toraco-brahiali sînt cei care leagă toracele de centura scapulară și de extremitatea superioară a humerusului.

a) *Marele pectoral* este cel mai superficial și are o formă triunghiulară (fig. 114). Prin baza lui se inseră pe marginea anterioară a celor două treimi interne ale claviculei *(fasciculele claviculare)*, pe fața anterioară a sternului *(fasciculele sternale)*

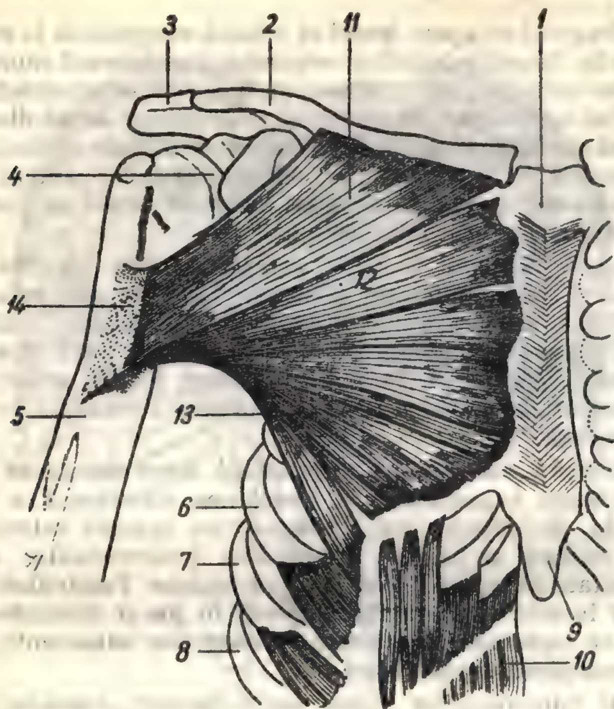


Fig. 114 — **Mușchiul mare pectoral :**

1 — stern ; 2 — claviculă ; 3 — acromion ; 4 — cap humeral ; 5 — diafiză humerus ; 6 — coasta a 6-a ; 7 — coasta a 7-a ; 8 — coasta a 8-a ; 9 — apendice xifoid ; 10 — mare drept abdominal ; 11 — fasciculul clavicular al marelui pectoral ; 12 — fasciculul costo-sternal al marelui pectoral ; 13 — fasciculul costal al marelui pectoral ; 14 — tendonul marelui pectoral.

și pe cartilajele primelor 7 coaste *(fasciculele costale)*. Toate aceste fascicule converg către un tendon comun de formă patrulateră, care trece prin fața axilei și peste metafiza superioară a humerusului și se inseră pe buza interioară a culisei bicipitale.

Cînd ia punct fix pe torace, marele pectoral face adducția brațului și duce umărul înainte ; cînd ia punct fix pe humerus, ridică trunchiul (ca în poziția atîrnat).

b) *Micul pectoral* este situat sub marele pectoral și se inseră proximal pe apofiza coracoidă, iar distal pe fața externă a coastelor 3, 4 și 5.

Cînd ia punct fix pe torace, micul pectoral coboară umărul ; cînd își ia punct fix pe apofiza coracoidă, este un mușchi inspirator.

c) *Subclavicularul* se întinde transversal de la prima coastă la fața inferioară a claviculei.

Cînd subclavicularul își ia punct fix pe torace, coboară clavicula ; cînd ia punct fix pe claviculă, este un mușchi inspirator.

d) *Marele dințat* este un mușchi lat, situat pe fața laterală a toracelui. Se inseră înapoi pe marginea internă a omoplatului, trece printre acesta și grilajul costal și se inseră înainte, pe primele 10 coaste, printr-o serie de digitații ce se încrucișează cu digitațiile corespunzătoare ale marelui oblic abdominal.

Cînd ia punct fix pe torace, marele dințat trage omoplatul înainte ; cînd ia punct fix pe omoplat, tracționează asupra coastelor și este deci un mușchi inspirator.

BIOMECANICA TORACELUI

Mișcările pe care le realizează diversele segmente osoase ale toracelui, datorită articulațiilor dintre ele, sînt de o deosebită importanță pentru satisfacerea funcției respiratorii.

Respirația se efectuează în doi timpi : inspirația și expirația. Inspirația presupune pătrunderea unei cantități mai mari de aer în plămîni, extinderea plămînilor și deci mărirea volumului cavității toracice. Expirația presupune un mecanism invers.

Cavitatea toracică trebuie să prezinte un oarecare grad de mobilitate pentru a permite efectuarea ritmică a celor doi timpi respiratori. Cum coloana dorsală și sternul sînt rigide, mobilitatea cavității toracice rămîne legată de gradul de mobilitate al coastelor. Prin articulațiile de care dispun atît la extremitățile vertebrale, cît și la extremitățile sternale, coastele pot efectua *mișcări de ridicare* și *de coborîre*. Prin ridicarea coastelor, unghiul costo-vertebral se mărește, iar prin coborîrea lor acest unghi se micșorează (fig. 115).

Dispoziția anatomică a articulațiilor toracelui nu permite însă efectuarea unor simple mișcări de ridicare și de coborîre ale coastelor. Odată cu ridicarea se execută și o mișcare de proiectare înainte, de îndepărtare laterală și de rotație a fiecărei coaste (fig. 116). Timpul inspirator beneficiază astfel de o

mărire a dimensiunilor cavității toracice în toate sensurile. Mișcarea de coborîre a coastelor constă în revenirea la poziția de plecare.

În timpul acestor mișcări coastele se comportă ca niște pîrghii de gradul III (S.F.R.). Articulația costo-vertebrală reprezintă punctul de sprijin (S), zonele de inserție ale mușchiului pe

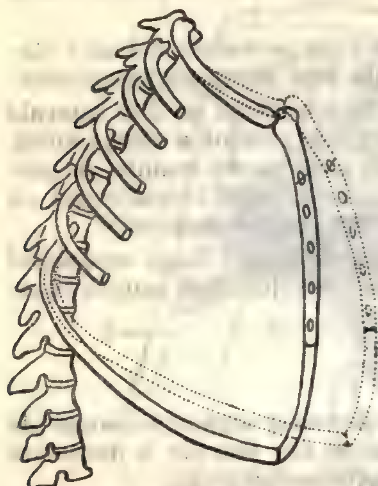


Fig. 115 — Deplasarea coastelor și sternului în sus și înainte în timpul inspirației.

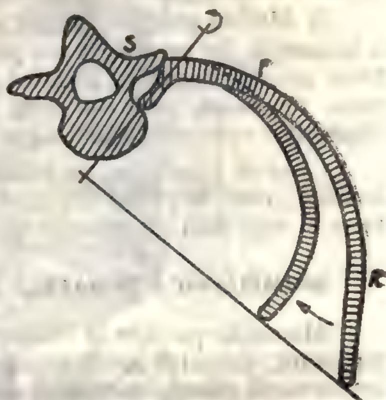


Fig. 116 — Mișcările de ridicare și coborîre ale coastelor.

corpul coastei reprezintă punctul de aplicare al forței (P), iar partea anterioară a coastelor reprezintă rezistența (R).

Mișcările coastelor sînt însoțite de mobilizarea pasivă a sternului, care este puternic atașat de coaste. Cînd acestea se ridică și sînt proiectate înainte, sternul suferă o deplasare asemănătoare ; la revenire, la fel.

Pentru a realiza mai ușor o imagine a biodinamicii cutiei toracice, *Braus* sugerează următoarea experiență. Împreunăm mîinile înaintea toracelui și arcuim membrele superioare astfel ca ele să formeze un cerc. Să presupunem că acest cerc reprezintă circumferința cutiei toracice, mîinile împreunate reprezentînd sternul, toracele nostru reprezentînd coloana vertebrală, iar membrele noastre superioare reprezentînd coastele. Dacă

coborîm mîinile, ele se apropie de corp, iar dacă le ridicăm, se depărtează. Aceasta este mişcarea efectuată de stern în timpul expiraţiei şi inspiraţiei şi explică micşorarea şi mărirea diametrului antero-posterior al cutiei toracice. Dacă ţinem mîinile fixe şi mişcăm coatele în sus şi în jos, reproducem mişcările coastelor, care se apropie între ele atunci cînd coboară şi se depărtează atunci cînd se ridică, micşorînd sau mărind astfel diametrul transversal al cutiei toracice. Bineînţeles că mişcarea cutiei toracice se realizează din însumarea mişcărilor prezentate schematic în exemplul dat.

Muşchii care realizează acţiunea complexă de ridicare şi coborîre a coastelor — dat fiind efectul pe care îl au asupra respiraţiei — se împart în *muşchi inspiratori* şi *muşchi expiratori*.

Muşchii inspiratori, deci cei care ridică coastele, sînt : diafragmul, scalenul anterior, scalenul posterior, supracostalii, marele pectoral, micul pectoral, micul dinţat postero-superior, fasciculele superioare şi inferioare ale marelui dinţat.

Tabel recapitulativ al muşchilor inspiratori

Denumirea	Inserţia	
	Proximală	Distală
Diafragmul	Primele trei vertebre lombare, L_1-L_3 şi faţa internă a coastelor 7–12	
Scalenii	Apofize transverse C_2-C_7	Primele două coaste
Supracostalii	Vîrf apofize transverse	Extremitatea posterioară a coastelor
Pectoralul mare	Claviculă ; stern ; cartilaje costale 1–7	Culisa bicipitală
Pectoralul mic	Apofiză coracoidă	Coaste 3–5
Dinţatul mic postero-superior	Apofize spinoase C_5-D_3	Coaste 3–5
Dinţatul mare (fasciculele superioare şi inferioare)	Marginea internă a omoplatului	Primele 10 coaste

Muşchii expiratori, care coboară coastele, sînt : marele drept abdominal, marele oblic, micul oblic, transversul abdomenului, micul dinţat postero-inferior şi fasciculul mijlociu al marelui dinţat.

Tabel recapitulativ al mușchilor expiratori

Denumirea	Inserția	
	Proximală	Distală
Marele drept abdominal	Cartilaje costale 5—6—7	Corp pubis
Marele oblic abdominal	Ultimele 7—8 coaste	Creasta iliacă
Mic oblic abdominal	Ultimele 3—5 coaste	Spina iliacă antero-superioară
Transvers abdominal	Ultimele coaste	Creasta iliacă
Dințat mic postero-inferior	Ultimele 4 coaste	Apofize spinoase
Dințat mare (fasciculul mijlociu)	Marginea internă a omoplatului (treimea medie)	$D_{11}-L_3$; coastele 3—6

CAPUL, GÎTUL ȘI TRUNCHIUL CA LANȚ CINEMATIC

Primul principiu general al anatomiei funcționale și biomecanicii sună astfel : *„Mișcările încep fie prin stabilizarea în poziție favorabilă, fie prin mobilizarea centrului de greutate principal al corpului“*. Cum centrul principal al corpului se află plasat la nivelul trunchiului, înseamnă că oricare mișcare a corpului omenesc se va realiza prin intrarea în funcțiune în primul rînd a acestui segment.

Bazinul, coloana vertebrală și capul alcătuiesc în cadrul diverselor mișcări un lanț cinematic, care poate acționa deschis sau închis.

Ca lanț cinematic deschis, ele acționează în poziția ortostatică în următoarele mișcări, pe care le vom denumi după terminologia din gimnastică :

— mișcări de aplecare înainte și înapoi ;

— mișcări de înclinare (îndoire) laterală ;

— mișcări de răsucire la dreapta și la stînga (mișcările de rotație din terminologia anatomică) ;

— mișcări de rotație de la dreapta spre stînga și de la stînga spre dreapta (mișcările de circumducție din terminologia anatomică).

Ca lanț cinematic închis, ele acționează în poziția stînd pe cap (cu sprijin pe mîini), în următoarele mișcări :

— flexia și extensia membrelor inferioare pe trunchi ;

— înclinări laterale ale membrelor inferioare ;

— răsucirea la dreapta şi la stînga a bazinului şi membrelor inferioare ;

— rotaţia într-un sens sau altul a bazinului şi picioarelor.

Indiferent sub ce formă de lanţ cinematic acţionează, deschis sau închis, în realizarea mişcărilor de o deosebită importanţă rămîne nu numai lanţul osteo-articular al capului, coloanei vertebrale şi bazinului, care suportă şi efectuează mişcările, ci şi corsetul muscular al trunchiului.

Acest corset alcătuit din muşchii toracelui, ai abdomenului şi muşchiul diafragm participă prin contracţia lor particulară la realizarea mişcărilor respective şi prin contracţia lor simultană ajung să alcătuiască, după cum am văzut la coloana vertebrală, un veritabil cilindru relativ rigid, care preia sarcinile de încărcare ale lanţului osteo-articular.

Cînd lanţul cinematic este deschis, corsetul muscular îşi ia punct fix pe bazin şi descarcă coloana vertebrală de cel puţin 1/3 din încărcătura sa. Cînd lanţul cinematic este închis, corsetul muscular îşi ia punct fix pe coloană şi descarcă bazinul de încărcarea membrelor inferioare, uşurînd astfel mobilizarea acestora.

CENTURA SCAPULARĂ

Legătura dintre partea superioară a trunchiului şi membrele superioare este realizată de *centura scapulară.*

SCHELETUL CENTURII SCAPULARE

Scheletul centurii scapulare este alcătuit din două oase : clavicula şi omoplatul.

Clavicula este un os lung, turtit, aşezat transversal, care formează partea anterioară a scheletului centurii scapulare şi se găseşte situat deasupra toracelui între menubriul sternal şi acromionul omoplatului (fig. 117).

Clacivula are forma unui S italic şi prezintă două *curburi* : una *internă,* cu concavitatea posterioară, şi una *externă,* cu concavitatea anterioară. Cele două curburi ale claviculei conferă osului o mare soliditate, situaţia fiind oarecum asemănătoare celei întîlnite la coloana vertebrală. Forma sinuoasă a claviculei a rezultat din rolul mecanic care-i revine de a contribui la susţi-

nerea nu numai a întregii centuri scapulare, ci şi a întregului membru superior.

Faţa superioară a claviculei este situată sub piele şi sub muşchiul pielos al gîtului. La partea ei internă se inseră fasciculul clavicular al sternocleidomastoidianului, iar la partea ei externă se inseră înainte deltoidul şi înapoi trapezul.

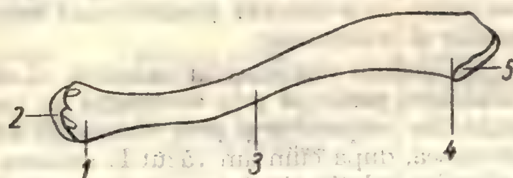


Fig. 117 — Clavicula stîngă :
1 — extremitatea externă ; 2 — suprafaţă articulară pentru acromion ; 3 — diafiza ; 4 — extremitatea internă ; 5 — suprafaţa articulară pentru stern şi prima coastă.

Mergînd dinăuntru în afară, faţa inferioară dă inserţie : ligamentului costo-clavicular, muşchiului subclavicular şi ligamentelor coraco-claviculare. Marginea anterioară dă inserţia marelui pectoral înăuntru şi deltoidului în afară. Marginea posterioară dă inserţie fasciculului clavicular al sternocleidomastoidianului înăuntru şi trapezului în afară.

Extremitatea internă se termină cu o faţetă articulară pentru stern şi inferior cu o faţetă articulară plană pentru prima coastă. Extremitatea externă se termină cu o faţetă articulară plană pentru acromion.

Omoplatul (scapula) este un os lat, triunghiular, cu baza în sus, turtit antero-posterior. El formează partea posterioară a centurii scapulare şi se găseşte aplicat pe faţa postero-externă a toracelui, între primul şi al optulea spaţiu intercostal.

Faţa anterioară este escavată *(fosa subscapulară)* şi dă inserţie muşchiului subscapular. Faţa posterioară este convexă (fig. 118). La unirea pătrimii superioare cu cele trei pătrimi inferioare, se detaşează la unghi drept o creastă înaltă, *spina omoplatului*, care se îndreaptă oblic în sus, în afară şi înapoi. La partea ei internă, spina omoplatului se confundă cu marginea internă a omoplatului. La partea ei externă formează o mare apofiză turtită transversal, *acromionul*. Pe marginea posterioară a spinei se inseră trapezul (pe buza superioară) şi deltoidul (pe buza inferioară).

Spina omoplatului împarte fața posterioară a omoplatului într-o *fosă supraspinoasă*, pe care se inseră mușchiul supraspinos, și într-o *fosă subspinoasă*, pe care se inseră la partea superioară mușchiul subspinos și micul rotund și la partea inferioară mușchiul marele rotund.

Marginea superioară a omoplatului este subțire și pe ea se inseră mușchiul omohioidian. Pe marginea internă a scapulei se inseră mușchii marele dințat și romboid. Pe marginea externă, în partea ei superioară, se găsește fațeta subglenoidiană, pe care se inseră tendonul lungii porțiuni a mușchiului triceps brahial.

Pe unghiul supero-intern se inseră mușchiul unghiular. Pe unghiul inferior se inseră mușchiul subscapular, marele rotund și fasciculele inferioare ale marelui dințat.

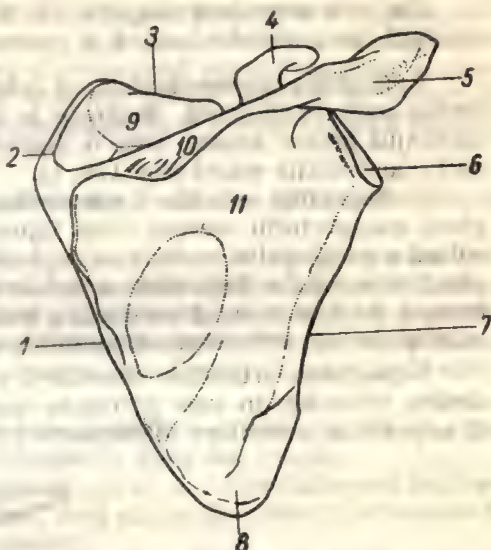


Fig. 118 — Fața posterioară a omoplatului :

1 — marginea internă, 2 — unghiul supero-intern ; 3 — marginea superioară ; 4 — apofiza coracoidă ; 5 — acromion ; 6 — cavitatea glenoidă ; 7 — marginea externă ; 8 — unghiul inferior ; 9 — fosa supraspinoasă ; 10 — spina omoplatului ; 11 — fosa subspinoasă.

Unghiul supero-extern este cel mai complex conformat și prezintă *o cavitate, un gît* și *o apofiză*.

Cavitatea se numește *cavitate glenoidă*, are o formă ovală, cu axa mare verticală, și privește în afară, înainte și în sus. Este înconjurată de un burelet fibro-cartilaginos, *bureletul glenoidian*. Cavitatea reprezintă suprafața articulară a omoplatului pentru articulația scapulo-humerală.

Gîtul omoplatului este porțiunea mai îngustă, care unește cavitatea glenoidă cu corpul omoplatului.

Imediat deasupra gîtului se ridică o apofiză puternică, de forma unui cioc de corb, *apofiza coracoidă*. Pe vîrful apofizei

coracoide se inseră tendonul comun al scurtei porţiuni a bicepsului şi coraco-brahialului. Pe faţa superioară a apofizei coracoide se inseră ligamentele coraco-claviculare, iar pe marginea sa internă muşchiul micul pectoral.

ARTICULAŢIILE CENTURII SCAPULARE

Centura scapulară dispune de trei articulaţii : sterno-claviculară, acromio-claviculară şi interscapulo-toracică.

Articulaţia sterno-claviculară este, propriu-zis, o articulaţie sterno-costo-claviculară, deoarece la alcătuirea ei contribuie şi cartilajul primei coaste. Este o diartroză prin dublă îmbucare, deci o articulaţie şelară (fig. 119, 1).

a) Suprafaţa articulară a sternului este reprezentată de unghiul manubriului sternal (vezi figura 112, 4). Suprafaţa articulară a cartilajului costal este reprezentată de o mică porţiune plană a acestuia. Suprafaţa articulară a claviculei este reprezentată de faţa internă verticală a extremităţii interne a claviculei şi de faţa inferioară orizontală a acesteia.

Suprafeţele articulare sternale şi costale alcătuiesc un unghi diedru înfundat, în care pătrunde unghiul diedrul proeminent al suprafeţei articulare claviculare (vezi figura 117, 5).

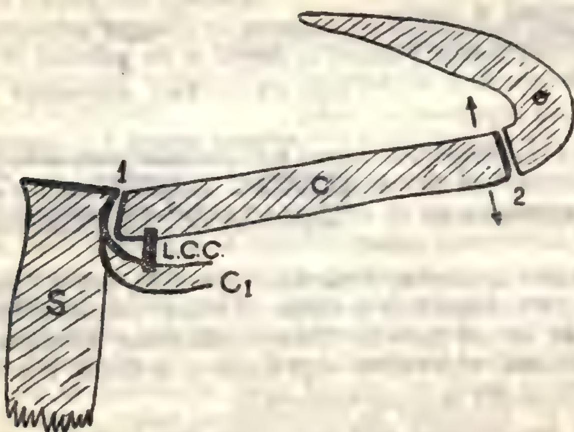


Fig. 119 — **Mişcarea de basculă a claviculei :**
S — stern ; C — claviculă ; O — omoplat ; C_1 — prima coastă ; L.C.C. — ligamentul costo-clavicular ; 1 — articulaţia sterno-claviculară ; 2 — articulaţia acromio-claviculară.

b) Pentru a se respecta principiul congruenţei articulare, între suprafaţa sternală şi cea claviculară se interpune un *menisc* dispus vertical.

c) Suprafeţele articulare sînt unite între ele de o *capsulă articulară*, întărită de patru *ligamente : anterior, posterior, superior* şi *inferior*.

În afara acestor ligamente intrinseci, articulaţia sterno-costo-claviculară prezintă şi un ligament extrinsec, *ligamentul costo-clavicular*. Relativ scurt, dar foarte solid, acest ligament este deosebit de important şi reprezintă centrul mecanic al mişcărilor acestei articulaţii. Punctul lui de inserţie pe claviculă reprezintă punctul fix al claviculei, care acţionează ca o pîrghie (fig. 119, L.C.C.).

Articulaţia acromio-claviculară este o articulaţie plană (fig. 119, 2).

a) Suprafaţa articulară a acromionului ocupă partea cea mai anterioară a marginii lui interne. Suprafaţa articulară a claviculei se găseşte situată pe extremitatea externă a capului.

După orientarea interliniei articulare dintre cele două suprafeţe articulare, *Urist* descrie trei tipuri de articulaţii acromio-claviculare :

1. *Tipul vertical*, în care interlinia articulară are un traiect strict vertical. Se întîlneşte în 27% din cazuri.

2. *Tipul superior* (overriding), în care interlinia este îndreptată oblic în jos şi înăuntru, deci clavicula încalecă acromionul. Se întîlneşte în 49% din cazuri.

3. *Tipul inferior* (underriding), în care interlinia se îndreaptă oblic în jos şi în afară, deci acromionul încalecă extremitatea claviculară.

b) Unirea dintre suprafeţele articulare este reliefată de o *capsulă fibroasă*, întărită de două ligamente *acromio-claviculare*, unul superior şi unul inferior.

În menţinerea suprafeţelor articulare au un rol important şi *ligamentele coraco-claviculare*, situate la distanţă, deci extrinseci. Ligamentele coraco-claviculare sînt două la număr : unul dispus antero-extern, de formă patrulateră, numit *ligamentul trapezoid*, şi unul dispus postero-intern, de formă triunghiulară, numit *ligamentul conoid*. În cazuri rare şi între coracoidă şi claviculă se observă existenţa unei adevărate articulaţii.

În ceea ce priveşte valoarea acestor mijloace de contenţie, *Cadenat* şi *Urist* au arătat că secţiunea ligamentelor coraco-claviculare nu atrage o creştere apreciabilă a mobilităţii articu-

lației acromio-claviculare dacă nu este și capsula secționată. Secțiunea izolată a capsulei acromio-claviculare permite subluxația. Secțiunea concomitentă a capsulei și ligamentelor coraco-claviculare permite luxația completă a claviculei.

c) În 34%—40% din cazuri articulația acromio-claviculară prezintă și un disc descris de *Winslow*, încă din anul 1732.

Articulația scapulo-toracică nu este o articulație în adevăratul înțeles al cuvîntului, dar trebuie considerată ca atare dată fiind importanța funcțională a spațiului dintre fața anterioară a omoplatului și fața postero-externă a toracelui. Acest tip de articulație se încadrează în grupa *sissarcozelor*, adică a articulațiilor fără elemente articulare tipice, denumite astfel de *Cloquet*.

Articulația scapulo-toracică a fost descrisă de *Gilles* și a fost denumită de *Latarjet* „joncțiunea scapulo-toracică" (fig. 120). Suprafețele ei articulare sînt formate, pe de o parte, de fața anterioară a omoplatului, dublată de mușchiul subscapular și, pe de altă parte, de fața externă a coastelor și mușchilor intercostali. Între aceste două așa-zise suprafețe articulare se găsește întins marele dințat (Serratus magnus).

Spațiile dintre diferitele formațiuni sînt pline cu țesut celular lax. Cel dintre mușchiul subscapular și marele dințat ia numele de spațiul *interserato-scapular* (vezi figura 120, 1), iar cel dintre marele dințat și grilajul costal ia numele de spațiul

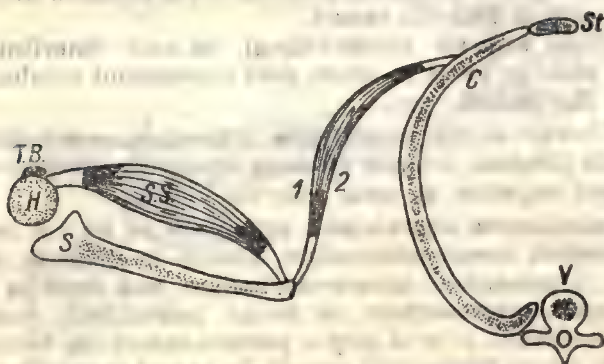


Fig. 120 — Schema articulației scapulo-toracice (omoplatul este depărtat mult în afară) :

V — corp vertebral ; C — coaste ; St — stern ; S — omoplat ; H — humerus ; TB — tendonul lung biceps ; SS — subscapular ; 1 — spațiu interserato-subscapular ; 2 — spațiu interserato-toracic.

interserato-toracic (vezi figura 120, 2). Ultimul reprezintă veritabilul spaţiu care conferă mobilitatea acestei aşa-zise articulaţii.

MUŞCHII CENTURII SCAPULARE

Muşchii dispuşi în jurul centurii scapulare pe care i-am studiat la coloană şi la torace formează, după *Benninghoff*, un sistem de trei centuri :

Centura descendentă este alcătuită din unghiular, porţiunea superioară a trapezului, romboid şi porţiunea superioară a dinţatului mare. Ea susţine omoplatul, nu îl lasă să descindă sub influenţa gravitaţiei şi este întinsă, contractîndu-se izometric cînd asupra umărului apasă o povară. În mişcările de căţărare, contractîndu-se izotonic, trage trunchiul în sus.

Centura orizontală este alcătuită din dinţatul mare, porţiunea mijlocie a trapezului, romboidul şi pectoralul mare. Prin intrarea ei în acţiune, omoplatul se deplasează înainte şi în afară şi înapoi şi înăuntru pe torace. Realizează deci mişcările pe orizontală ale centurii scapulare.

Centura ascendentă este alcătuită din pectoralul mic şi din porţiunile inferioare ale dinţatului mare, trapezului, pectoralului mare şi dorsalului mare. Această centură trage omoplatul în jos şi este întinsă, contractîndu-se izometric în poziţiile atîrnat (bară, inele etc.) sau în sprijin (paralele etc.).

Toate aceste trei centuri au trei roluri principale. Primul rol este acela de a imobiliza centura scapulară pe torace atunci cînd mişcarea membrelor superioare reclamă un punct solid de sprijin, ca în poziţiile atîrnat, sprijin sau stînd pe mîini. Al doilea rol este acela de a imobiliza centura scapulară atunci cînd membrele superioare execută mişcări de mare amplitudine, ce depăşesc posibilităţile de amplitudine ale articulaţiei scapulohumerale. Al treilea rol este acela de a trage trunchiul în sus, ca în mişcările de căţărare.

BIOMECANICA CENTURII SCAPULARE

În acest capitol vom prezenta izolat biomecanica articulaţiilor centurii scapulare, deşi vom vedea la biomecanica umărului că ele intervin concomitent.

Biomecanica articulaţiei sterno-claviculare. Fiind o diartroză prin îmbucare reciprocă, articulaţia sterno-claviculară are

două grade de libertate : permite claviculei mişcări de ridicare şi coborîre şi mişcări de proiectare înainte şi înapoi, iar ca o rezultantă a acestora şi mişcări de circumducţie.

Mişcările se realizează în jurul unei axe care trece nu prin articulaţia sterno-claviculară, ci printr-un punct situat puţin în afara ei, la nivelul inserţiei costale a ligamentului costo-clavicular, care este adevăratul pivot al acestor mişcări (vezi figura 119, L.C.C.).

Extremităţile claviculei, în cursul diverselor mişcări, se deplasează concomitent, dar în sens invers. Astfel, în mişcarea de proiecţie înainte a claviculei, extremitatea ei internă basculează înapoi, iar cea externă — înainte. În mişcarea de proiecţie înapoi a claviculei, extremitatea ei internă basculează înainte, iar cea externă — înapoi. Acest principiu se respectă şi în mişcarea de circumducţie. Practic, extremităţile claviculei execută fiecare cîte o mişcare de circumducţie ; extremitatea internă — una de amplitudine mică, iar cea externă — una de amplitudine mare şi în sens invers primei. Prin acest mecanism de basculă, cu axa situată în apropierea capătului median al claviculei, extremitatea ei externă poate urca şi coborî pe o înălţime de 8—10 cm.

Muşchii motori ai mişcărilor articulaţiei sterno-claviculare sînt următorii :

— ridicători ai claviculei : trapezul şi capătul clavicular al sternocleidomastoidianului ;

— coborîtori ai claviculei : marele pectoral, deltoidul şi subclavicularul ;

— proiecţia înainte a claviculei : marele pectoral, deltoidul şi subclavicularul ;

— proiecţia înapoi a claviculei : trapezul şi capătul clavicular al sternocleidomastoidianului.

Biomecanica articulaţiei acromio-claviculare. Fiind o artrodie, articulaţia acromio-claviculară prezintă mişcări de alunecare, care, deşi foarte limitate, permit totuşi omoplatului să facă o serie de basculări de mare amplitudine.

Axa biomecanică a deplasărilor suprafeţelor articulare este reprezentată de ligamentele extrinseci ale articulaţiei, deci de ligamentele coraco-claviculare, care au un rol important în limitarea deplasărilor celor două oase ale centurii scapulare unul faţă de celălalt. Ligamentul trapezoid limitează mişcarea claviculei în sus şi înainte, în timp ce ligamentul conoid limitează mişcarea claviculei în sus şi înapoi.

Articulația acromio-claviculară conferă centurii scapulare o anumită suplețe. Dacă ea nu ar exista, mișcările claviculei ar antrena mișcări bruște și necoordonate ale omoplatului pe torace. Prin prezența ei, articulația acromio-claviculară permite o deplasare mai adaptată a omoplatului pe torace fie prin alunecarea suprafețelor articulare, fie prin modificarea unghiului format de extremitatea externă a claviculei cu acromionul.

Biomecanica articulației scapulo-toracice. Omoplatul are posibilitatea de a se deplasa amplu pe torace datorită spațiilor celulare intermusculare ale joncțiunii scapulo-toracice. El se sprijină indirect pe torace, prin intermediul claviculei, la nivelul articulației sterno-claviculare. Se poate afirma că întreaga centură scapulară are ca pivot principal în mișcările ei ligamentul *costo-clavicular*, adică formația în jurul căreia se execută toate mișcările sterno-claviculare. Datorită faptului că întreaga centură scapulară are un singur punct de sprijin, iar omoplatul basculează liber la celălalt capăt al centurii, deplasările lui au fost comparate (figura 119 văzută invers) cu acelea ale unui săritor cu prăjina *(Dumas* și *Renault)*.

În timpul acestor deplasări laterale se execută concomitent și o mișcare de basculare a omoplatului în jurul unei axe antero-posterioare, situată în apropierea unghiului său supero-intern *(Poirier)*. În felul acesta, unghiul supero-extern cu cavitatea lui glenoidă se poate ridica și îndrepta înainte, în timp ce unghiul inferior se depărtează de coloană. Amplitudinea mișcării de basculare a unghiului inferior este de 45°. Omoplatul poate ajunge astfel să nu mai fie situat în plan frontal, ci într-un plan oblic, cu 30° îndreptat dinăuntru în afară și dinapoi-înainte, plan care poate fi denumit *„planul omoplatului"*.

Ridicarea omoplatului este realizată de fasciculele superioare ale trapezului, romboid și unghiular. Ea este însoțită și de o îndepărtare a marginii vertebrale a omoplatului de șirul apofizelor spinoase. Realizată concomitent și bilateral, deplasarea contribuie la efectuarea mișcării de ridicare a brațelor prin înainte sus.

Coborîrea omoplatului este realizată de fasciculele inferioare ale trapezului, de dințatul mare și dorsalul mare. În timpul coborîrii, marginea internă a omoplatului se apropie de planul medio-sagital al corpului. Executată concomitent și bilateral, deplasarea contribuie la realizarea poziției stînd (poziția de drepți).

17 — Anatomia funcțională și biomecanica aparatului locomotor — cd. 271

Biomecanica centurii scapulare în totalitate. În jurul articulației claviculo-costo-sternale (singurul punct fix pe care-l oferă toracele) centura scapulară realizează o serie completă de deplasări : clavicula se poate deplasa în sus, făcînd cu orizontala un unghi de 30—40° sau în jos cu 8—10°, în plan antero-posterior și chiar rota în jurul axei ei lungi. În acest sens *Inman* a arătat că în timpul mișcării de abducție a brațului, clavicula prezintă o ușoară mișcare de rotație în jurul axei ei lungi, mișcare ce se realizează în sus și înapoi.

Prin poziția de intermediar pe care o are și prin punctul de inserție pe care-l oferă centurii scapulare, clavicula are o serie de funcții importante. Ea reprezintă, după cum am văzut, singurul sprijin direct pe torace al centurii scapulare și al articulației umărului și oferă zone întinse de inserție celor mai puternici mușchi care acționează asupra centurii scapulare și brațului. În plus, clavicula protejează organele subclaviculare (vase și nervi) și reprezintă și un factor estetic important al bazei gîtului.

Dacă omoplatul ar fi fix, amplitudinea mișcărilor ar fi mult mai scăzută. Astfel, proiecția brațului înainte nu ar mai fi posibilă decît pînă la 60°, limitarea făcîndu-se prin întinderea mușchilor micul rotund și subspinos. Abducția nu ar fi posibilă decît pînă la 72°, limitarea datorîndu-se întinderii ligamentului gleno-humeral inferior, contactului trohiterului cu cadrul glenoidian superior și mușchilor care încrucișează în jos articulația.

Faptul că omoplatul ajungînd în așa numitul „plan al omoplatului“ se poate mobiliza pe cutia toracică, permite cavității glenoide să se orienteze lateral și în sus printr-o deplasare a umărului înapoi. Clavicula se îndreaptă posterior și în sus, omoplatul se apropie de coloană prin unghiul său supero-intern, în timp ce unghiul inferior basculează, depărtîndu-se de coloană. Astfel, brațul poate ajunge, după *Steindler*, pînă la 152°. Pentru a se ajunge la verticalitatea perfectă, cînd se ridică doar un braț, este suficientă o ușoară curbură a coloanei lombare în partea opusă.

Proiecția brațului înapoi este nulă dacă omoplatul este fix. Pentru a fi posibile cele 5—20° de proiecție înapoi, cavitatea glenoidă coboară și unghiul inferior se deplasează spre coloană.

Deplasările omoplatului se întîlnesc, de asemenea, în mișcările de supinație forțată de 180°. Această mișcare se datorește 90° supinației antebrațului și mîinii, apoi rotației externe a humerusului și restul amplitudinii, posibilității de deplasare a omoplatului înapoi.

UMĂRUL

Centura scapulară se continuă cu membrul superior prin intermediul articulaţiei umărului.

SCHELETUL UMĂRULUI

La alcătuirea articulaţiei umărului participă două segmente osoase : omoplatul şi humerusul.

Omoplatul a fost descris la oasele centurii scapulare.

Humerusul este osul lung care formează scheletul braţului şi prezintă o extremitate superioară, un corp şi o extremitate inferioară (fig. 121).

a) *Extremitatea superioară* prezintă un cap, un gît anatomic, o tuberozitate mare, o tuberozitate mică şi un gît chirurgical.

1. *Capul humeral*, neted şi rotunjit, reprezintă o treime dintr-o sferă şi priveşte în sus, înapoi şi înăuntru. Are diametrul vertical mai mare cu 3—4 mm decît cel orizontal.

2. *Gîtul anatomic* este şanţul care mărgineşte capul în afară. Faţă de axa diafizei humerale, axa lungă a gîtului anatomic face un unghi de 130—140° *(unghiul de înclinare* sau *unghiul cervico-diafizar).*

3. *Tuberozitatea mare* (trohiterul) se găseşte în afara gîtului anatomic.

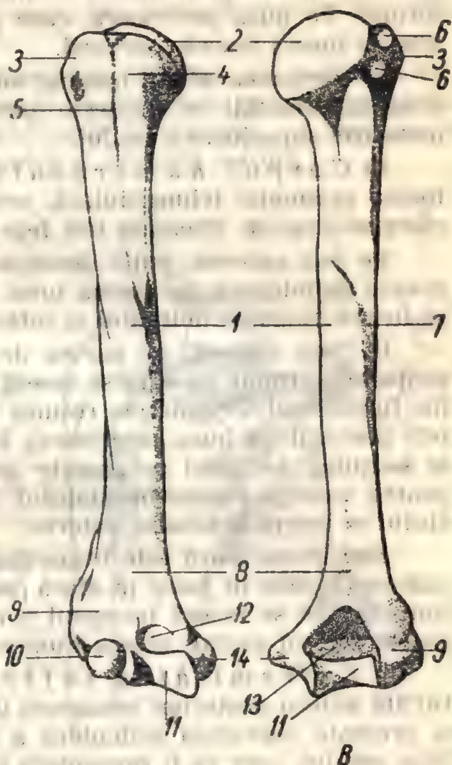


Fig. 121 — Humerusul văzut din faţă (A) şi din spate (B) :
1 — diafiză ; 2 — cap humeral ; 3 — trohiter ; 4 — trohin ; 5 — culisă bicipitală ; 6 — feţele trohiterului pentru inserţiile rotatorilor ; 7 — şanţul de torsiune ; 8 — extremitate inferioară ; 9 — epicondil ; 10 — condil ; 11 — trohlee ; 12 — fosă coronoidă 13 — fosă olecraniană ; 14 — apitrohlee.

Prezintă trei fațete : una *superioară*, pentru inserția mușchiului supraspinos, una *mijlocie*, pentru inserția mușchiului subspinos și una *inferioară*, pentru inserția mușchiului mic rotund.

4. *Tuberozitatea mică* (trohinul) se găsește înaintea gîtului anatomic și oferă punct de inserție mușchiului subscapular. Între cele două tuberozități se află un șanț dispus vertical, *șanțul bicipital*, în care alunecă tendonul lungii porțiuni a bicepsului. Șanțul bicipital se prelungește 6—8 cm în jos, pe fața internă a corpului humerusului. Pe buza posterioară, care provine din mica tuberozitate, se inseră marele dorsal și marele rotund. Pe buza anterioară, care provine din marea tuberozitate, se inseră marele pectoral.

5. Porțiunea aflată imediat sub capul humeral și sub cele două tuberozități se numește *gîtul chirurgical* și corespunde metafizei superioare a osului.

b) *C o r p u l   h u m e r u s u l u i* este rectiliniu și are o formă prismatic triunghiulară, orientată cu o față înapoi și o margine înainte. Prezintă trei fețe și trei margini.

Pe *fața externă*, puțin deasupra mijlocului, se observă amprenta deltoidiană, de forma unui V cu vîrful inferior, pe care se inseră superior deltoidul și inferior brahialul anterior.

Pe *fața internă*, pe partea de sus, se găsește prelungirea șanțului bicipital, pe care se inseră cei trei mari : marele dorsal (în fundul culisei), marele rotund (pe buza posterioară) și marele pectoral (pe buza anterioară). Imediat sub punctul terminus al șanțului bicipital se găsește *amprenta coraco-brahialului*, pentru inserția coraco-brahialului. Sub amprenta coraco-brahialului se inseră brahialul anterior.

Fața posterioară este împărțită în două de un șanț care se îndreaptă oblic în jos și în afară *(șanțul de torsiune)* și pe toată lungimea ei se inseră tricepsul sural. În șanțul de torsiune se găsesc nervul radial, artera humerală profundă și venele sale.

c) *E x t r e m i t a t e a   i n f e r i o a r ă* a humerusului este turtită antero-posterior, asemenea unei palete (paleta humerală) și prezintă suprafața articulară a humerusului pentru articulația cotului, care va fi prezentată la cot.

ARTICULAȚIILE UMĂRULUI

Umărul prezintă două articulații : una clasică *(articulația propriu-zisă a umărului* sau *articulația scapulo-humerală)* și una accesorie *(cea de-a doua articulație a umărului)*.

Articulaţia scapulo-humerală este o enartroză (fig. 122).

a) Suprafaţa articulară a humerusului este reprezentată de *capul humeral*, acoperit cu un cartilaj hialin gros de 1,5—2 mm.

Suprafaţa articulară a omoplatului este reprezentată de *cavitatea glenoidă* a unghiului supero-extern al acestuia, acoperită şi ea de un cartilaj hialin. Cavitatea glenoidă este înconjurată de *bureletul glenoidian*, care-i măreşte capacitatea.

b) Cele două suprafeţe articulare sînt menţinute în contact de o capsulă întărită superior de un ligament *coraco-humeral* (fig. 122, 10) şi anterior de 3 *ligamente gleno-humerale* (fig. 122, 4, 5 şi 6).

Capsula articulară se inseră pe omoplat, pe marginea externă a bureletului glenoidian şi, pe humerus, pe gîtul anatomic al acestuia. Prin faţa sa exterioară fuzionează cu tendoanele subscapularului, supraspinosului şi micului rotund.

Ligamentul coraco-humeral se întinde de la apofiza coracoidă a omoplatului la marea tuberozitate a humerusului. Întărit de tendonul lungii porţiuni a bicepsului pe care-l însoţeşte, el reprezintă ligamentul cel mai puternic al articulaţiei şi are rolul de a susţine capul humeral, de unde şi numele de *ligament suspensor al capului humeral* (fig. 122, 10).

Cele 3 ligamente gleno-humerale au fost denumite de *Farabeuf*: *ligamentul supragleno-suprahumeral*, *ligamentul supragleno-prehumeral* şi *ligamentul pregleno-subhumeral*. Denumirea lor indică şi punctele lor de inserţie. Primele două au inserţia

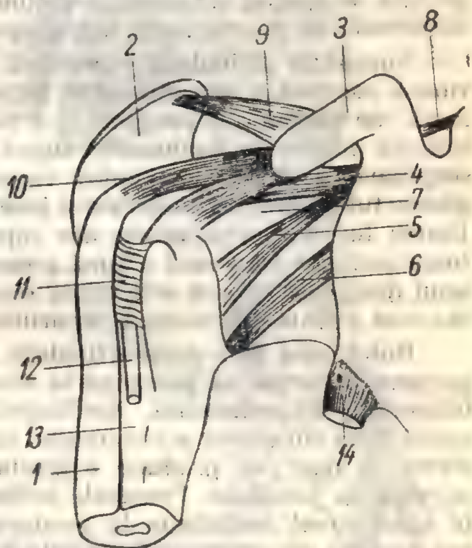


Fig. 122 — Articulaţia scapulo-humerală: 1 — humerus; 2 — acromion; 3 — apofiza coracoidă; 4 — ligament supragleno-suprahumeral; 5 — ligament supragleno-prehumeral; 6 — ligament pregleno-subhumeral; 7 — foramen oval Weitbrecht; 8 — ligament coracoidian; 9 — ligament acromio-coracoidian; 10 — ligament coraco-humeral; 11 — ligament humeral transvers; 12 — lungul tendon al bicepsului; 13 — culisa bicipitală; 14 — lungul tendon al tricepsului.

glenoidiană comună, apoi se depărtează pentru a se insera pe humerus în puncte diferite. Între ele se creează un spaţiu triunghiular cu vîrful spre glenă şi baza spre humerus, denumit *foramenul oval al lui Weitbrecht* (fig. 122, 4, 5, 6 şi 7).

Ligamentele gleno-humerale sînt foarte laxe, cu excepţia celui inferior (ligamentul pregleno-subhumeral), care joacă un oarecare rol în menţinerea capului humeral în contact cu cavitatea glenoidă. În menţinerea contactului dintre cele două suprafeţe articulare un rol important revine şi musculaturii umărului, în special deltoidului. Paralizia acestuia atrage, ca o consecinţă imediată, îndepărtarea suprafeţelor articulare şi apariţia *subluxaţiilor* sau *luxaţiilor paralitice*.

A doua articulaţie a umărului. Unii autori *(Puhl, Francke, Pick* etc.) au individualizat ca o adevărată entitate funcţională şi morfologică a doua articulaţie a umărului, care ar fi reprezentată de spaţiul subacromio-deltoidian. Este vorba, deci, de o *sissarcoză*, ca şi articulaţia interscapulo-toracică.

Suprafaţa articulară superioară este formată de faţa inferioară concavă a acromionului. Suprafaţa inferioară este formată de capsula superioară a articulaţiei scapulo-humerale, întărită intern de tendoanele supra şi subspinosului, ale subscapularului şi de ligamentul coraco-humeral ; iar extern se găsesc tuberozităţile humerale şi inserţiile lor tendinoase. Totalitatea formaţiilor alcătuite din capsulă şi ligamentele întăritoare amintite formează o lamă groasă, căreia i se atribuie rolul unui *disc*, care separă articulaţia scapulo-humerală de această aşa-zisă a doua articulaţie a umărului.

Rolul celei de a doua articulaţii a umărului este foarte important, deoarece ea participă la dinamica articulaţiei scapulo-humerale. Experimental, desfiinţîndu-se articulaţia subacromială, prin suturarea acromionului şi a ligamentului coraco-humeral la disc, se produce o limitare a mişcărilor umărului aproape la jumătate. Procesele inflamatorii sau traumatice de la acest nivel contribuie la producerea sindromului cunoscut sub numele de *periartroză scapulo-humerală*.

MUŞCHII UMĂRULUI

Muşchii care participă la efectuarea mişcărilor umărului fac parte din mai multe categorii : muşchii posteriori ai coloanei vertebrale, muşchii toraco-brahiali şi muşchii scapulo-brahiali (fig. 123).

Mușchii posteriori ai coloanei vertebrale au fost descriși la coloana vertebrală.

Mușchii toraco-brahiali au fost descriși la torace.

Mușchii scapulo-brahiali se întind de la centura scapulară la membrul superior și sînt în număr de 7 : ***deltoidul, coraco-brahialul, supraspinosul, subspinosul, marele rotund, micul rotund*** și ***subscapularul***.

a) *Deltoidul* este cel mai superficial și cel mai voluminos mușchi al umărului și are forma unei bolți triunghiulare (fig. 124,5). Prin baza lui, deltoidul se inseră proximal pe tre-



Fig. 123 — Mușchii anteriori ai umărului și ai brațului :

1 — acromion ; 2 — apofiză coracoidă ; 3 — subscapular ; 4 — mare rotund ; 5 — scurta porțiune a bicepsului ; 6 — coraco-brahial ; 7 — biceps brahial ; 8 — brahial anterior ; 9 — tuberozitatea bicipitală a radiusului ; 10 — radius ; 11 — cubitus.

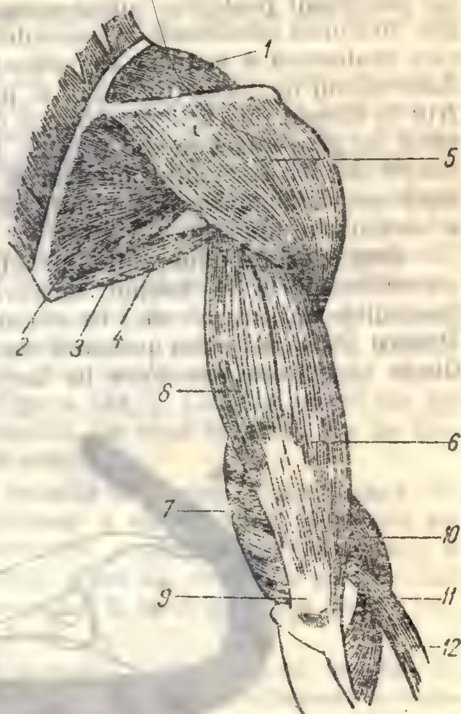


Fig. 124 — Mușchii posteriori ai umărului și ai brațului :

1 — supraspinos ; 2 — subspinos ; 3 — mic rotund ; 4 — mare rotund ; 5 — deltoid ; 6 — vast extern al tricepsului ; 7 — vast intern al tricepsului ; 8 — lunga porțiune a tricepsului ; 9 — olecran ; 10 — humero-radial ; 11 — prim radial extern ; 12 — anconeu.

imea externă a marginii anterioare a claviculei *(fasciculele claviculare)*, pe marginea externă a acromionului *(fasciculele acromiale)* și pe buza inferioară a marginii posterioare a spinei omoplatului *(fasciculele spinale)*. Toate aceste fascicule converg spre tendonul distal, care se inseră pe buza superioară a amprentei deltoidiene de pe fața externă a humerusului.

Acțiunea deltoidului este complexă. În totalitatea lui, dacă ia punct fix pe centura scapulară, este un abductor al brațului. Contracțiile izolate ale celor trei fascicule au însă acțiuni diferite. Fasciculul anterior (clavicular) proiectează brațul înainte, fasciculul mijlociu (acromial) este abductor prin excelență, iar fasciculul posterior (spino-scapular) proiectează brațul înapoi. Acțiunea combinată a fasciculului anterior și a celui posterior realizează o mișcare de adducție, deci antagonistă celei a fasciculului mijlociu (fig. 125), și în același timp mențin ca un frîu în timpul mișcării de abducție direcția de ascensiune a brațului în plan strict medio-frontal. Peste o amplitudine de abducție de 60° fasciculul anterior și cel posterior devin din adductoare, abductoare, însumîndu-și forța lor forței abductoare a fasciculului mijlociu.

Deși prezintă o inervație unică (nervul circumflex) deltoidul nu se comportă în timpul mișcării de abducție ca un tot, fasciculele lui intervenind în moduri și cu intensități diferite. Pentru *Pick*, deltoidul prezintă nu trei, ci șapte fascicule distincte ca acțiune, deoarece în fasciculele clasice anterioare și

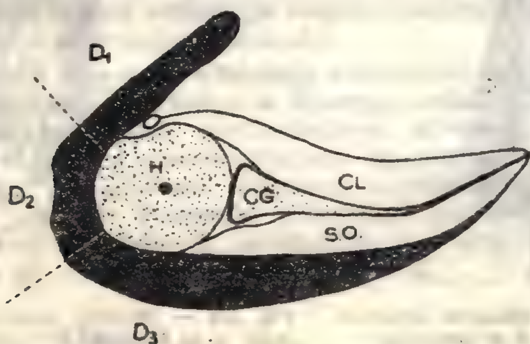


Fig. 125 — Secțiune transversală prin articulația umărului:

H — humerus, C.G. — cavitate glenoidă, Cl. — claviculă, S.O. — spină omoplat, D_1 — fasciculul anterior al deltoidului, D_2 — fasciculul mijlociu al deltoidului, D_3 — fasciculul posterior al deltoidului.

posterioare există fibre situate fie în afară, fie înăuntrul axei mişcării de abducţie. Fasciculul clasic anterior se împarte astfel în fasciculele I şi II, fasciculul clasic mijlociu reprezintă fasciculul III, iar fasciculul clasic posterior se împarte în fasciculele IV, V, VI şi VII. Pînă la 60° amplitudine de mişcare intervin fasciculele II, III şi IV ale lui *Pick* (deci fasciculul clasic mijlociu şi fasciculele imediat anterioare şi posterioare acestuia). Peste 60°, porţiunile I şi V (care sub 60° sînt adductoare) devin şi ele abductoare, iar capacitatea de acţiune a muşchiului creşte.

Cînd ia punct fix pe humerus, deltoidul trage centura scapulară şi toracele, cum se întîmplă în poziţia atîrnat şi în mişcările de căţărare.

b) *Coraco-brahialul* este un muşchi fusiform, care se inseră proximal pe apofiza coracoidă, împreună cu scurta porţiune a bicepsului, iar distal în treimea mijlocie a feţei interne a humerusului, pe amprenta coraco-brahialului (vezi figura 123,6).

Cînd ia punct fix pe apofiza coracoidă este proiector înainte, adductor şi rotator în afară al humerusului, iar cînd ia punct fix pe humerus, îl apropie pe acesta de apofiza coracoidă şi deci de omoplat, ca în poziţia atîrnat şi mişcările de căţărare.

c) *Supraspinosul* este un muşchi de formă triunghiulară, se inseră intern pe fosa supraspinoasă a omoplatului şi extern pe faţeta superioară a marii tuberozităţi a extremităţii superioare a humerusului (vezi figura 124,1). Cînd ia punct fix pe omoplat este abductor al braţului, iar cînd ia punct fix pe humerus, trage omoplatul către acesta.

d) *Subspinosul* este un muşchi de formă triunghiulară. Se inseră intern pe fosa subspinoasă a omoplatului şi extern pe faţeta mijlocie a marii tuberozităţi a extremităţii superioare a humerusului (vezi figura 124,2). Cînd ia punct fix pe omoplat este un rotator în afară al braţului şi cînd ia punct fix pe humerus trage omoplatul către braţ.

e) *Micul rotund* este un muşchi cilindric, situat imediat în afara subspinosului, se inseră intern în fosa subspinoasă a omoplatului şi extern pe faţa inferioară a marii tuberozităţi a extremităţii superioare a humerusului (vezi figura 124,3). Cînd ia punct fix pe omoplat este un rotator în afară al humerusului şi cînd ia punct fix pe humerus trage omoplatul către braţ.

f) *Marele rotund* este un muşchi puternic, de formă patrulateră, se inseră intern pe unghiul inferior al omoplatului, se îndreaptă în sus, în afară şi înainte, ocoleşte faţa internă a

metafizei humerale superioare și se inseră pe buza posterioară a culisei bicipitale a humerusului (vezi figura 24,4).

Cînd ia punct fix pe omoplat, marele rotund este un adductor al brațului, iar cînd ia punct fix pe humerus este un ridicător al omoplatului.

g) *Subscapularul* este un mușchi triunghiular, care se inseră intern în fosa subscapulară și extern pe mica tuberozitate a extremității superioare a humerusului (vezi figura 123,3). Cînd ia punct fix pe omoplat este un rotator înăuntru și un adductor al brațului, iar cînd ia punct fix pe humerus trage omoplatul către braț.

BIOMECANICA UMĂRULUI

Articulația scapulo-humerală, cea mai mobilă enartroză a corpului omenesc, prezintă trei grade de libertate și poate efectua mișcări de abducție și adducție, proiecție înainte și înapoi (anteducție și retroducție), rotația externă și internă și ca o rezultantă a acestor mișcări, circumducția (fig. 126).

Goniometrie. Articulația acționează în strînsă corelație funcțională cu articulațiile centurii scapulare (sterno-claviculară, acromio-claviculara și interscapulo-toracică), a căror participare măresc substanțial amplitudinea de mișcare a membrului superior față de trunchi. Pentru a determina numai mobilitatea articulației scapulo-humerale, se prinde între police și

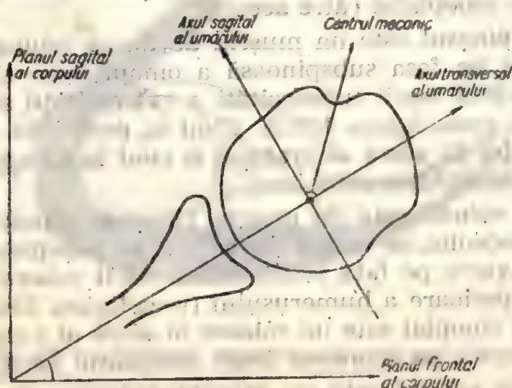


Fig. 126 — **Axele umărului nu corespund axelor corpului (după *G. și Ch. Oliver*).**

index vîrful inferior al omoplatului şi se fixează pe torace, în timp ce cu cealaltă mînă se poate dirija, eventual, mişcarea braţului (manevra Dessault. Măsurătoarea se face de la poziţia anatomică, pînă la poziţia în care mişcarea respectivă începe să antreneze deplasarea unghiului inferior al omoplatului.

Amplitudinile medii normale de mişcare sînt următoarele :

	Abducţie—adducţie	Proiecţie înainte (Anteducţie)	Proiecţie înapoi (Retroducţie)	Rotaţie internă	Rotaţie externă
Activ	72°(0—72°)	95°(0—95°)	20°(0—20°)	95 (0—95°)	80 (0—80°)
Pasiv	72°(0—72°)	95°(0—95°)	20°(0—20°)	95 (0—95°)	80 (0—80°)
Diferenţe	0°	0°	0°	0°	0°

Abducţia şi adducţia se execută în plan frontal, în jurul unei axe antero-posterioare care trece prin partea infero-externă a capului humeral, puţin înăuntrul gîtului anatomic (fig. 127).

Goniometrul se aşază cu baza intern în plan frontal, cu axul indicatorului în dreptul axei biomecanice antero-posterioare de rotaţie, cu indicatorul de-a lungul braţului aşezat în poziţia goniometrică (fig. 128, a). În abducţie, indicatorul urmăreşte deplasarea axei lungi a braţului (fig. 128, b).

Proiecţia înainte şi înapoi se execută în plan sagital, în jurul unei axe transversale care trece prin centrul marei tuberozităţi şi prin centrul cavităţii glenoide. Clinic, această axă se găseşte la aproximativ 2 cm sub bolta acromială, în mijlocul feţei laterale a umărului.

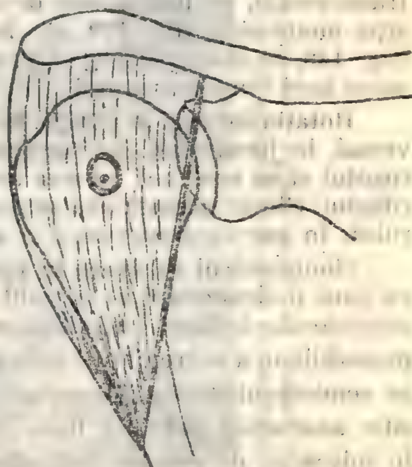


Fig. 127 — Schema articulaţiei umărului văzută din faţă. Zona ovoidă în care se deplasează axa biomecanică antero-posterior.

Goniometrul se aşază în plan sagital, cu baza proximal, cu axul indicatorului în dreptul axei biomecanice

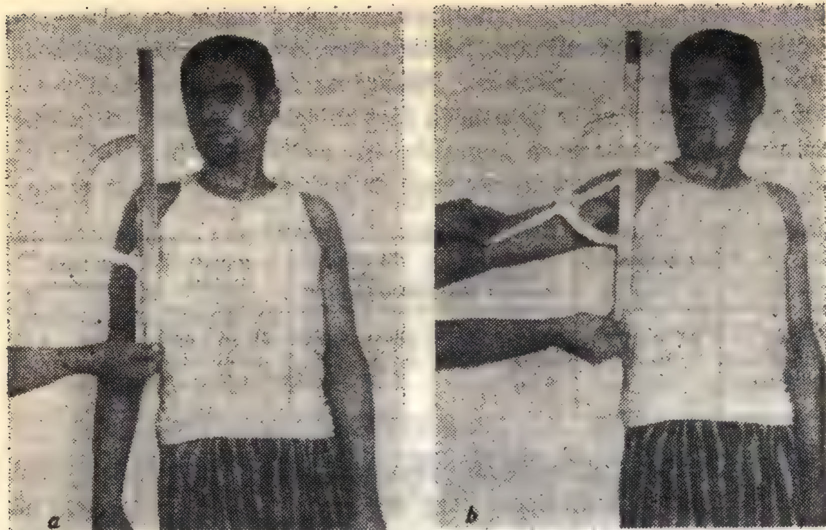


Fig. 128 — Goniometria umărului. Abducția-adducția ; a — poziția de plecare ; b — poziția finală a abducției.

transversale, cu indicatorul de-a lungul brațului, așezat în poziția anatomică (fig. 129, a). În mișcările de proiecție înainte (fig. 129, b) și înapoi (fig. 129, c), indicatorul urmărește deplasarea axei lungi a brațului.

Rotația internă și rotația externă se execută în plan transversal, în jurul unei axe verticale care trece prin capul humerusului și se continuă cu axa anatomică longitudinală a humerusului. Clinic, această axă se găsește pe fața superioară a umărului, în partea posterioară a articulației acromio-claviculare.

Goniometrul se așază în plan transversal, cu baza medial, cu axul indicatorului în dreptul părții posterioare a articulației acromio-claviculare, cu indicatorul plasat în dreptul liniei biepicondiliene a extremității inferioare a humerusului, deci la 90° pe semicercul gradat. (Reamintim că membrul superior în poziție anatomică prezintă linia biepicondiliană în plan frontal.) În mișcările de rotație, indicatorul urmărește deplasarea liniei biepicondiliene a cotului și nu deplasarea axei transversale a mîinii, care este mult mai amplă datorită mișcărilor de pronație-supinație supraadăugate.



Fig. 129 — Goniometria umărului. Proiecția înainte și înapoi :
a — poziția de plecare ; b — poziția finală a proiecției înainte ; c — poziția finală a proiecției înapoi.

Mişcările de abducţie şi adducţie. În cursul mişcării de abducţie cele două extremităţi ale humerusului suferă o deplasare în sens invers : în timp ce extremitatea inferioară urcă, cea superioară coboară. Mişcarea de abducţie se face pînă cînd marea tuberozitate se loveşte de porţiunea superioară a bureletului glenoidian. În acest moment suprafaţa articulară a capu-

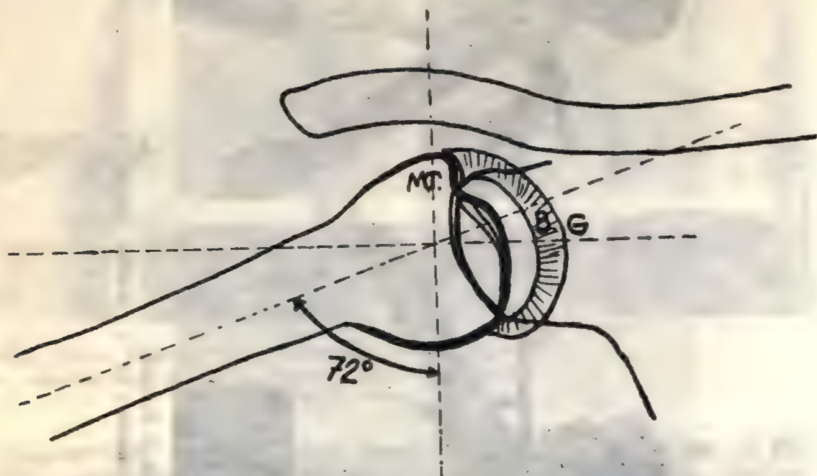


Fig. 130 — Schema articulaţiei umărului văzută din faţă în abducţie de 72°. Marele trohanter (M.T.) se loveşte de porţiunea superioară a bureletului glenoidian (B.G.) şi mişcarea se blochează.

lui humeral părăseşte aproape cavitatea glenoidă şi intră în contact, în marea ei parte, cu porţiunea inferioară a capsulei articulare (fig. 130).

Mişcarea se realizează în jurul unei axe biomecanice antero-posterioare care trece prin partea infero-externă a capului humeral, puţin înăuntrul gîtului anatomic. Axa biomecanică antero-posterioară nu este fixă şi nu se proiectează pe un punct fix, ci pe o zonă ovoidă (vezi figura 127).

Studiile electromiografice efectuate de *Cortet* şi *Auffray* au arătat că în mişcarea de abducţie pură (în plan medio-frontal) ca şi în mişcarea de abducţie în „planul omoplatului" intră în acţiune întîi fasciculele III şi IV ale deltoidului, apoi fasciculul II şi numai spre sfîrşit fasciculele V şi VI.

Inman şi colab. au stabilit modificările forţei de acţiune a deltoidului. Aceasta creşte progresiv, atingînd maximum cînd

brațul este într-o abducție de 90°. În acest moment, forța de acțiune a deltoidului este de 8,2 ori mai mare, decît greutatea membrului superior.

Poziția brațului are și ea importanță în angajarea în mișcare a diferitelor fascicule ale deltoidului. În poziția de rotație externă a humerusului, fasciculul II intervine imediat, în timp ce fasciculele posterioare intervin mai tîrziu. În schimb, în poziția de rotație internă a humerusului, primele fascicule care intervin să ajute fasciculul mijlociu sînt fasciculele posterioare. În ridicarea brațelor prin lateral sus, care se însoțește de o rotație externă progresivă, acționează în primul plan fasciculele posterioare.

Mușchiul supraspinos, luîndu-și punct fix de inserție pe capătul central (în fosa supraspinoasă a omoplatului), apropie prin contracția sa marea tuberozitate a humerusului de bureletul glenoidian, dirijează în jos capul humeral și favorizează astfel alunecarea masivului tuberozitar humeral pe sub planșeul acromial, menținînd totuși în raporturi normale cele două extremități osoase articulare ale scapulo-humeralei. În rupturile de tendon supraspinos, s-a descris un semn radiologic semnificativ din acest punct de vedere : radiografia din față a umărului, făcută cu brațul în abducție, arată o ascensionare a capului humeral sub bolta acromio-claviculară (Semnul lui *Leclerc*). Rolul principal al supraspinosului este de a menține capul humeral într-o poziție convenabilă, nepermițînd nici luxația lui în sus, nici eventuala lui luxație în jos (cum afirma *Duchenne de Boulogne)*, prin punerea în tensiune a părții superioare a capsulei articulare scapulo-humerale *(Daurty* și *Gosset).*

Rolul supraspinosului în mișcarea de abducție propriu-zisă este încă controversat. Studiile electromiografice au demonstrat că activitatea mușchiului este maximă la o amplitudine de abducție 60—90°. După *Codman,* el acționează ca un „starter al abducției" și realizează abducție numai pe primele 10° amplitudine, mișcarea fiind apoi preluată și continuată de deltoid (fig. 131 și 132).

S-a recomandat chiar un semn clinic pentru diagnosticarea rupturii de supraspinos : impotența de abducție pe primele 10°, cu menținerea posibilității de abducție de la 10° în sus, ar indica o ruptură de supraspinos. Observațiile noastre clinice nu au confirmat valoarea acestui semn în niciunul din cazurile de rupturi de supraspinos.

Supraspinosul poate chiar singur, în afara deltoidului, să realizeze mișcarea de abducție completă. Excitația faradică a lui produce o abducție de amplitudine egală cu aceea a deltoidului *(Duchenne de Boulogne)*. În literatura medicală se citează cazuri de bolnavi cu paralizii totale de deltoid, care puteau

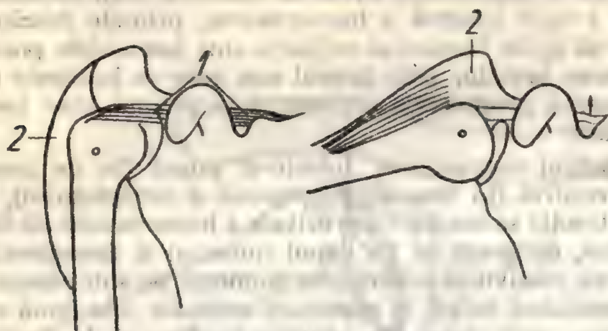


Fig. 131 — Mecanismul abducției :

1 — supraspinos ; 2 — deltoid ; A — supraspinosul execută începutul abducției ; B — deltoidul preia mișcarea după primele 10° de abducție.

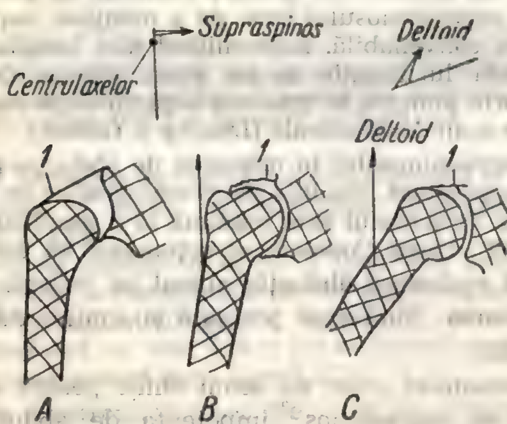


Fig. 132 — Schema aplicativă a concepției lui Codman cu sensurile de acțiune ale supraspinosului și deltoidului :

A — supraspinosul trage în sus capul humeral ; B — supraspinosul începe abducția ; C — deltoidul preia conducerea mișcării.

efectua mişcări de abducţie complete, numai cu ajutorul supraspinosului *(Duchenne de Boulogne, J. Creyssel* şi colab.). Pe de altă parte, s-a constatat că scoaterea din funcţiune a supraspinosului, prin anestezierea nervului suprascapular, permite totuşi o mişcare de abducţie de o amplitudine normală, dar durata în timp a posibilităţilor de mişcare scade *(Van Linge* şi *Nujder)*.

Supraspinosul ar avea în cadrul mişcării de abducţie două roluri : unul de menţinere a contactelor normale dintre extremităţile osoase articulare şi altul, cantitativ, de însumare la forţa de acţiune a deltoidului.

Lunga porţiune a bicepsului brahial joacă un rol secundar ca muşchi abductor al braţului.

Tabel recapitulativ al abductorilor umărului

Denumirea	Inserţia	
	Proximală	Distală
Supraspinos	Fosa supraspinoasă	Marea tuberozitate a humerusului
Deltoid	Claviculă ; acromion ; spina omoplatului	Amprentă deltoidiană a humerusului
Biceps brahial (lunga porţiune)	Faţeta supraglenoidiană	Tuberozitate bicipitală

Mişcarea de adducţie se face în sens invers. În ortostatism, rolul important în realizarea ei revine greutăţii membrului superior şi acţiunii gravitaţii, mişcarea fiind controlată tot de muşchii abductori care, prin contracţia lor izometrică, dirijează apropierea membrului superior de trunchi. Mişcarea de adducţie este oprită de lovirea membrului superior de trunchi.

Muşchii adductori intervin ca agonişti numai în anumite situaţii. De exemplu, în sprijin la paralele, prin contracţia lor izometrică menţin braţele lîngă trunchi. Acţionează ca grup muscular principal în menţinerea „crucii" la inele şi prin contracţia lor izometrică realizează dificilul exerciţiu la inele de trecere din poziţia atîrnat, prin „cruce", în sprijin.

Tabel recapitulativ al adductorilor umărului

Denumirea	Inserţia	
	Proximală	Distală
Pectoral mare	Claviculă ; stern ; coaste	Culisa bicipitală
Dorsal mare	Spinoase lombare ; creasta iliacă	Culisa bicipitală
Rotund mare	Unghi inferior omoplat	Culisa bicipitală
Rotund mic	Fosa subspinoasă	Trohiter
Subscapular	Fosa subscapulară	Trohin
Coraco-brahial	Apofiză coracoidă	Faţa internă a humerusului
Biceps brahial (scurta porţiune)	Apofiza coracoidă	Tuberozitatea bicipitală
Triceps brahial (lunga porţiune)	Faţeta subglenoidiană	Olecran

Centrul de greutate al membrului superior în mişcarea de abducţie-adducţie este plasat imediat deasupra cotului, în punctul B (fig. 133). Forţele gravitaţionale care acţionează asupra centrului de greutate B sînt echilibrate şi învinse de forţa de acţiune a deltoidului D, a cărei direcţie este reprezentată de linia AT dintre inserţia pe V-ul deltoidian (A) şi vîrful trohiterului (T). Vîrful trohiterului (T) reprezintă hipomoelionul (scripetele) de reflexie al deltoidului. Forţa de acţiune a deltoidului se descompune la nivelul amprentei deltoidiene în componenta DR, perpendiculară pe axa lungă a humerusului, care realizează ridicarea braţului şi în componenta DP, care acţionează de-a lungul axei lungi a humerusului. Ultima componentă se descompune şi ea în două : o forţă RG, care aplică capul humeral în cavitatea glenoidă şi atinge ma-

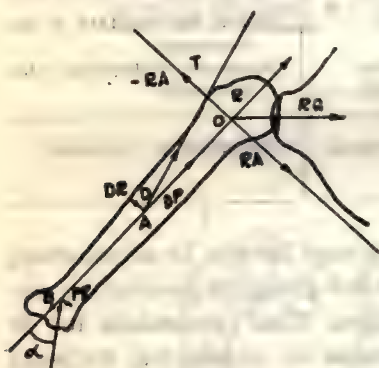


Fig. 133 — Mecanismul pîrghiei braţului în mişcare de abducţie : Amplitudinea mişcării alfa — 60°, D — amprenta deltoidiană (plasată pentru uşurinţă în mijlocul diafizei) ; T — vîrful trohiterului (hipomoclionul deltoidului), DT — direcţia de acţiune a deltoidului ; P — centrul de greutate al membrului superior ; DR — componenta perpendiculară a lui D ; DP — componenta axială a lui D ; RG — reacţia de opunere a glenei, RA — acţia muşchiului supraspinos.

ximum la 90° abducţie şi o forţă RA, care tinde să împingă capul în sus şi înainte şi atinge maximum la 60°.

Calculul forţelor care se exercită asupra extremităţii superioare a humerusului în abducţie de 60°, ar rezulta din următoarele formule :

PR = P·sin alfa,
DR = 2 P·sin alfa,
R = DP—P·cos alfa.

Deşi formulele nu pot fi considerate integral exacte, deoarece AO = AB, ceea ce plasează amprenta deltoidiană exact în mijlocul diafizei humerale, ele reuşesc totuşi să dezvăluie că forţa R tinde să luxeze umărul în sus şi înainte, şi că acestei forţei i se opun forţele antagoniste RG (reacţia glenei) şi RA (acţiunea muşchiului supraspinos şi a celorlalţi rotatori ai humerusului).

Mişcările de proiecţie înainte şi înapoi (anteducţie şi retroducţie). În jurul axei transversale, care trece prin centrul marii tuberozităţi şi prin centrul cavităţii glenoide, capul humeral basculează înapoi, în mişcarea de proiecţie înainte, şi înainte, în mişcarea de proiecţie înapoi, în timp ce extremitatea inferioară a humerusului se deplasează în sens invers, pe un arc de cerc dispus sagital.

Amplitudinea proiecţiei înainte este de 95°, iar cea a proiecţiei înapoi de 20°. În total, aceste mişcări se pot efectua de la nivelul articulaţiei scapulo-humerale, pe o amplitudine de 115°. Amplitudinea lor se poate mări prin intervenţia centurii scapulare şi a coloanei vertebrale şi poate ajunge la valori de 180° pentru proiecţia înainte şi 35° pentru proiecţia înapoi. Deci, la valoarea absolută de abducţie de 180° se poate ajunge şi prin mişcarea de proiecţie înainte.

Mişcarea de proiecţie înainte este realizată de : marele pectoral, fasciculele claviculare ale deltoidului şi coraco-brahial.

Mişcarea de proiecţie înapoi este realizată de marele dorsal şi fasciculele spinale ale deltoidului.

Mişcările de rotaţie înăuntru şi în afară. Se execută în jurul unei axe verticale care trece prin capul humerusului, în jurul axei anatomice lungi a humerusului.

În mişcarea de rotaţie înăuntru capul humeral, care este îndreptat oblic în sus înapoi şi înăuntru faţă de corpul humerusului, alunecă dinainte-înapoi pe cavitatea glenoidă, cele două

tuberozități deplasîndu-se înainte și înăuntru. Mișcarea este produsă de mușchii supraspinos, rotundul mare și subscapular și este oprită prin punerea sub tensiune a capsulei posterioare (fig. 134).

În mișcarea de rotație în afară capul humeral alunecă dinapoi-înainte pe cavitatea glenoidă, iar cele două tuberozități ale ex-

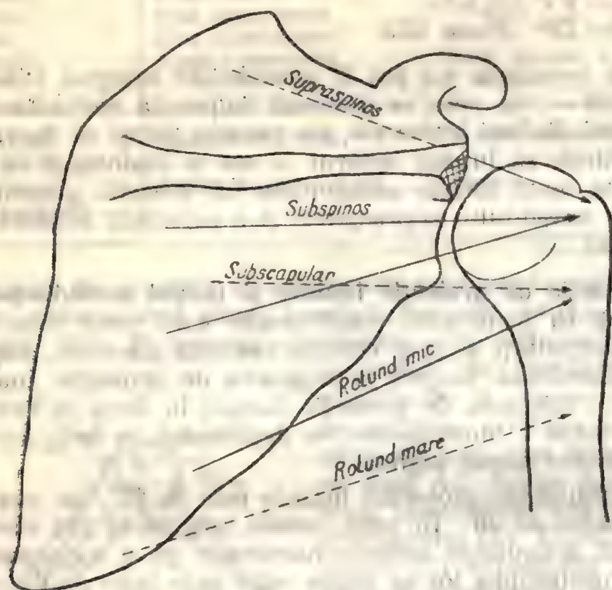


Fig. 134 — Mușchii rotatori ai umărului. Rotatorii externi sînt tratați cu linii pline, iar cei interni cu linii punctate.

tremității superioare a humerusului se deplasează în afară și înapoi. Mișcarea este produsă de subspinos și de micul rotund și oprită prin punerea sub tensiune a porțiunii anterioare a capsulei.

Amplitudinea lor este de 80° pentru rotația externă și 95° pentru rotația internă (în total 175°). Pentru a atinge 95° rotație internă, trebuie ca antebrațul să treacă înapoia trunchiului, ceea ce presupune și intervenția unui grad oarecare de proiecție înapoi a brațului. Mărirea amplitudinii aparente a rotației externe poate fi obținută prin intervenția centurii scapulare.

Tabel recapitulativ al amplitudinii de mişcare
(combinat după *Fick* şi *Miller*)

Mişcarea	Partea de contribuţie				
	Umăr	Acromio-claviculară	Sterno-claviculară	Coloană dorsală	TOTAL
Abducţie	72° = 65%	18° = 13%	26° = 19%	5° = 3%	180° = 100%
Proiecţie înainte	95° = 60%	35° = 40%	26,67%	±20° = 13,33%	180° = 100%
Proiecţie înapoi	20° = 33,33	15 – 20° = 33,33%	—	±20° = 33,33%	35° = 100%
Rotaţie internă	95° = 100%	—	—	—	95° = 100%
Rotaţie externă	80° = 100%	—	—	—	80° = 100%

Mişcarea de circumducţie. Însumează mişcările precedente care se execută în jurul celor trei axe. Capul humeral descrie un cerc mic, urmărind conturul cavităţii cotiloide, în timp ce extremitatea inferioară a humerusului descrie un cerc mare, dar în sens invers *(baza conului de circumducţie).*

Corelaţia funcţională dintre articulaţiile centurii scapulare şi articulaţia scapulo-humerală. Articulaţia scapulo-humerală are o amplitudine restrînsă şi singură nu satisface necesităţile de mişcare ale membrului superior. Pentru aceasta este necesar ca pe lîngă articulaţia scapulo-humerală să intervină şi articulaţiile centurii scapulare (sterno-claviculară, acromio-claviculară şi interscapulo-toracică). Prin studii radiografice şi cineradiografice s-a putut scoate în evidenţă partea de contribuţie a acestor articulaţii care acţionează concomitent pentru realizarea mişcărilor membrului superior. Coloana dorsală intervine şi ea cînd mişcarea se face de o singură parte.

Participarea tuturor acestor segmente asigură membrului superior o mare amplitudine de mişcare şi în toate sensurile, conferindu-i libertatea de deplasare necesară îndeplinirii multiplelor lui funcţii.

COTUL

Legătura dintre braţ şi antebraţ este realizată de cot. Din punct de vedere anatomic şi biomecanic cotul este astfel structurat încît să permită două tipuri de mişcări : mişcarea de flexie şi extensie a antebraţului pe braţ şi mişcarea de prono-supinaţie. În capitolul de faţă ne vom referi numai la primul tip de mişcare. Cea de pronaţie-supinaţie va fi studiată la antebraţ.

SCHELETUL COTULUI

La alcătuirea cotului participă 3 oase : extremitatea inferioară a humerusului şi extremităţile superioare ale cubitusului şi radiusului.

Extremitatea inferioară a humerusului sau paleta humerală este lăţită în sens frontal (vezi figura 121, 8). Urmărind conturul acestei palete dinăuntru în afară, găsim o tuberozitate internă, numită epitrohlee, pe care se inseră ligamentul lateral intern al articulaţiei cotului şi muşchii epitrohleeni. Sub epitrohlee şi în afară se găseşte scripetele humeral sau trohleea propriu-zisă (vezi figura 121, 11). Aceasta prezintă, în porţiunea mijlocie, un jgheab orientat puţin oblic, în sus şi înăuntru. Către acest jgheab se înclină cele două versante (intern şi extern) ale trohleei. Direcţia jgheabului trohleei este direcţia pe care se realizează flexia şi extensia antebraţului pe braţ, articulaţia cotului fiind o articulaţie cu conducere osoasă.

În afara trohleei se află o altă tuberozitate rotundă ca o emisferă, numită condilul humeral. Între condil şi trohlee se găseşte *şanţul condilo-trohlean*, cu aceeaşi direcţie ca şi jgheabul trohlean. În afara condilului se găseşte o altă tuberozitate, *epicondilul*, pe care se inseră ligamentul lateral extern al articulaţiei cotului şi muşchii epicondilieni.

Pe faţa anterioară a paletei humerale, deasupra trohleei, se află o depresiune numită *fosa coronoidă*, iar deasupra condilului o altă depresiune, numită *fosa supracondiliană*.

Pe faţa posterioară a paletei humerale se găseşte o nouă depresiune, *fosa olecraniană*, în care intră şi se blochează ciocul olecranului în mişcarea de extensie maximă.

Atît trohleea, cît şi condilul sînt acoperite cu cartilaj articular, cu o grosime ce variază între 1 şi 1,5 mm.

Extremitatea superioară a cubitusului prezintă pentru articulaţie o scobitură semilunară, numită *marea cavitate sigmoidă*.

Această cavitate prezintă în mijloc o creastă orientată dinainte-înapoi, de la care pleacă două versante. Creasta corespunde exact jgheabului pe care îl prezintă trohleea humerală (fig. 135).

În partea anterioară a marii cavități sigmoide se află *apofiza coronoidă* (fig. 135, 4), iar la partea posterioară a acestei cavități, o altă tuberozitate, numită *olecran* (fig. 135, 2). Apo-

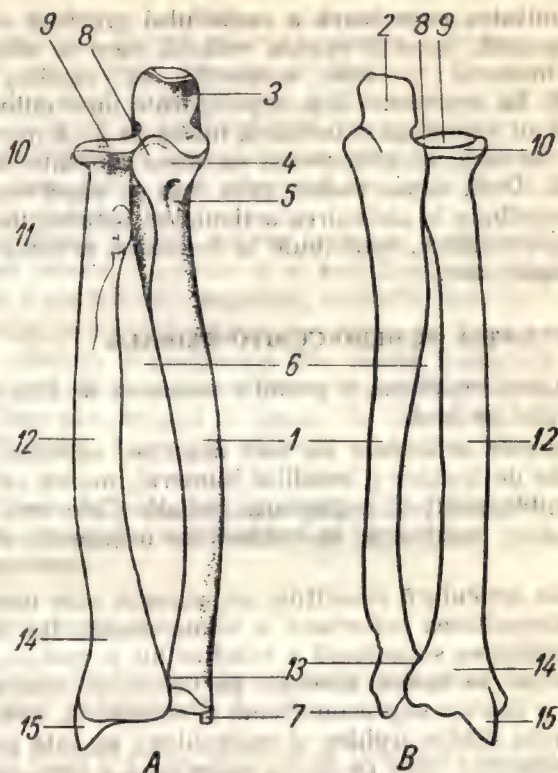


Fig. 135 **— Oasele antebrațului văzute din față (A) și din spate (B)**

1 — diafiza cubitusului ; 2 — olecran ; 3 — marea cavitate sigmoidă ; 4 — apofiză coronoidă ; 5 — rugozitate pentru inserția brahialului anterior ; 6 — spațiu interosos ; 7 — apofiza stiloidă cubitală ; 8 — articulația radio-cubitală superioară ; 9 — cupușoara radială ; 10 — fațeta articulară a capului radial pentru mica cavitate sigmoidă a cubitusului ; 11 — tuberozitatea bicipitală ; 12 — diafiza radiusului ; 13 — articulația radio-cubitală, inferioară ; 14 — extremitatea inferioară a radiusului ; 15 — apofiza stiloidă radius.

fiza coronoidă și olecranul iau parte la alcătuirea *marii cavități sigmoide* (fig. 135, 3) care este acoperită în întregime de cartilaj articular. La marginea externă a acestei cavități se află o altă scobitură semilunară, *mica cavitate sigmoidă*, acoperită de asemenea cu cartilaj articular, care ia parte la alcătuirea articulației radio-cubitale superioare, despre care vom vorbi în capitolul privind antebrațul.

Extremitatea superioară a radiusului prezintă o scobitură perfect regulată, numită *cupula radială*, care se adaptează pe condilul humeral și este acoperită cu cartilaj articular (fig. 135, 9). Ea reprezintă fața superioară a unui cilindru, *capul radial*, a cărui suprafață exterioară, înaltă de 7—8 mm, este acoperită cu cartilaj, se articulează cu mica cavitate sigmoidă a cubitusului. Deci, capul radial, prin fața sa superioară, cupula radială, contribuie la alcătuirea articulației cotului, iar prin fața sa laterală, cilindrică, contribuie la formarea articulației radio-cubitale superioare.

ARTICULAȚIA HUMERO-CUBITO-RADIALĂ

Este o trohleeartroză și permite mișcarea de flexie-extensie a antebrațului pe braț.

Suprafețele articulare au fost descrise anterior. Ele sînt reprezentate de trohlee și condilul humeral, marea cavitate sigmoidă a cubitusului și cupușoara radială. Cele trei suprafețe articulare sînt menținute în contact de o capsulă și de ligamente.

Capsula articulară constituie un manșon care unește pe de o parte extremitatea inferioară a humerusului, iar pe de altă parte extremitatea superioară a cubitusului și radiusului. Manșonul capsular se inseră anterior pe humerus, deasupra liniei superioare a foselor supracondiliană și coronoidă, trece apoi lateral la limita dintre trohlee și epitrohlee ; pe fața posterioară a paletei humerale trece pe limita superioară a fosei olecraniene și, în continuare, pe marginea externă a paletei, între epicondil și condil. Pe cubitus, capsula se prinde de jur împrejurul cavității sigmoide, iar pe radius la 6—7 mm sub capul radiusului.

Articulația cotului prezintă 4 ligamente dispuse *anterior, posterior, lateral extern* și *lateral intern.*

1. *Ligamentul anterior* este mai subțire și întărește anterior capsula articulară. După direcția fibrelor, se descriu 3 fascicule : mijlociu, oblic extern și oblic intern. Dintre acestea,

fasciculul oblic intern este mai bine reprezentat. Ligamentul anterior limitează, într-o oarecare măsură, mişcarea de extensie a antebraţului.

2. *Ligamentul posterior* întăreşte, posterior, capsula. Acest ligament are fibrele orientate transversal. Fibrele superioare trec de la marginea externă la cea internă a fosei olecraniene, sînt deci fibre humero-humerale, iar fibrele inferioare trec de la humerus la olecran — fibre humero-olecraniene.

3. *Ligamentul lateral intern* întăreşte înăuntru capsula articulară. După direcţia fibrelor se disting şi la acest ligament trei fascicule : unul superior, mai puţin evident, altul mijlociu, orientat în evantai, şi unul inferior, care este cel mai puternic. Tot pe această parte a articulaţiei se găseşte şi *ligamentul arciform*, ale cărui fibre sînt orientate transversal, de la apofiza coronoidă la olecran.

4. *Ligamentul lateral extern* întăreşte capsula în afară, şi, la fel ca cel intern, cuprinde şi el trei fascicule, după orientarea pe care o au fibrele : superior, mijlociu, inferior.

Sinoviala, ca o foiţă subţire, înveleşte pe dinăuntru capsula articulară, precum şi porţiunile din paleta humerală aflate în interiorul capsulei, cum sînt : fosa coronoidă şi supracondiliană în faţă şi fosa olecraniană în spate. De asemenea, ea înveleşte şi gîtul radiusului. La aceste niveluri sinoviala descrie trei funduri de sac.

Sinoviala este comună atît articulaţiei humero-cubito-radiale, cît şi articulaţiei radio-cubitale superioare, pe care o vom studia la antebraţ.

MUŞCHII COTULUI

Articulaţia humero-cubito-radială este pusă în mişcare de muşchii flexori şi extensori.

Muşchii flexori sînt : bicepsul şi brahialul anterior, ca flexori principali, şi muşchii epicondilieni, ca accesorii.

a) *Bicepsul brahial* este un muşchi fusiform, cu două capete superioare (de unde şi numele de biceps) şi unul inferior (vezi figura 123, 7).

Proximal, bicepsul brahial se inseră cu un cap (scurta porţiune a bicepsului) pe vîrful apofizei coracoide, printr-un tendon comun cu coraco-brahialul ; cu celălalt cap, reprezentat de un tendon lung (lunga porţiune a bicepsului), se inseră pe suprafaţa de deasupra cavităţii glenoide. Tendonul lungii porţiuni a

bicepsului pătrunde în cavitatea articulației scapulo-humerale, ocolește pe deasupra extremitatea superioară a humerusului, apoi se îndreaptă în jos, prin culisa bicipitală (vezi figura 122, 12). Prin unirea celor două porțiuni se formează corpul muscular care descinde vertical în fața humerusului și a cotului și se inseră distal, printr-un tendon puternic, pe tuberozitatea bicipitală a radiusului.

Cînd ia punct fix pe omoplat, bicepsul brahial are mai multe acțiuni : proiectează înainte și rotează înăuntru brațul ; flectează antebrațul supinat pe braț ; rotează antebrațul în afară (deci produce mișcarea de supinație) ; prin porțiunea scurtă este un adductor al brațului, iar prin porțiunea lungă, un abductor. Acțiunea cea mai importantă este aceea de supinație ; bicepsul brahial fiind cu preponderență un supinator și numai pe plan secundar un flexor al antebrațului pe braț.

Cînd ia punct fix pe antebraț (ca în poziția atîrnat), bicepsul brahial flectează brațul pe antebraț și apropie omoplatul.

b) *Brahialul anterior* este un mușchi aplatizat, situat sub biceps, între acesta și jumătatea inferioară a humerusului (vezi figura 123,8). Se inseră proximal pe buza inferioară a amprentei deltoidiene și pe fața internă și externă a jumătății inferioare a humerusului. Se îndreaptă în jos și, după ce trece de fața anterioară a articulației cotului, se inseră distal pe o mică suprafață rugoasă, situată pe fața internă a bazei apofizei coronoide a cubitusului.

Cînd ia punct fix pe humerus, brahialul anterior flectează antebrațul pe braț ; cînd ia punct fix pe cubitus, flectează brațul pe antebraț.

c) *Mușchii epicondilieni* sînt în număr de 4 : brahio-radialul, primul brahial extern, al doilea radial extern și scurtul supinator. Vom reveni asupra lor la antebraț.

Mușchii extensori sînt tricepsul, ca extensor principal, anconeul și mușchii extensori ai degetelor, ca mușchi accesorii (vezi figura 124).

a) *Tricepsul brahial* este un mușchi voluminos, care ocupă singur fața posterioară a brațului. Prezintă trei capete superioare (de unde și numele de triceps) și unul inferior (vezi figura 124,6,7,8).

Dintre cele trei capete superioare, unul este lung *(lunga porțiune a tricepsului)* și se inseră pe suprafața rugoasă, situ-

ată imediat sub cavitatea glenoidă a omoplatului. Celelalte două capete sînt scurte și iau numele de *vastul extern* și *vastul intern*. Vastul extern se inseră pe fața superioară a humerusului, deasupra șanțului de torsiune. Vastul intern se inseră pe fața posterioară a humerusului, sub șanțul de torsiune. Cele trei porțiuni se unesc și se îndreaptă vertical în jos, fixîndu-se distal, printr-un tendon puternic, pe fața posterioară și pe marginile laterale ale olecranului.

Cînd ia punct fix proximal, tricepsul este un extensor al antebrațului pe braț. Prin lunga lui porțiune este un adductor al brațului. Cînd ia punct fix pe olecran, tricepsul este fie un coborîtor, fie un ridicător al omoplatului, după cum membrul superior este orientat în jos sau în sus.

b) *Anconeul* este un mușchi scurt și triunghiular, situat pe fața posterioară a cotului (vezi figura 124,12). Se inseră proximal, prin baza sa, pe fața posterioară a epicondilului. Se îndreaptă în jos și înăuntru și se inseră distal, prin vîrful său, pe marginea externă a olecranului.

Cînd ia punct fix pe humerus, anconeul este extensor al antebrațului pe braț ; cînd ia punct fix pe cubitus este un extensor al brațului pe antebraț. În plus, el joacă un rol important în mișcările de lateralitate ale cubitusului, în timpul prono-supinației.

c) *Mușchii extensori ai degetelor* vor fi studiați la antebraț. Dintre aceștia numai *extensorul comun al degetelor, extensorul propriu al degetului mic și cubitalul posterior* participă ca mușchi accesorii în realizarea extensiei antebrațului.

BIOMECANICA COTULUI

Conformația tipică a extremităților osoase articulare dirijează mișcările, de unde și afirmația că direcția de mișcare la nivelul cotului are o conducere osoasă.

Articulația humero-cubito-radială este o trohleartroză cu un singur grad de libertate și permite numai executarea mișcărilor de flexie-extensie.

Goniometria. Flexia și extensia se execută în plan sagital în jurul unei axe transversale care se suprapune practic liniei biepicondiliene. Goniometrul se așază în plan sagital, pe fața externă a cotului, cu baza posterior, cu axul indicatorului în

dreptul axei biomecanice situate la nivelul epicondilului extern, cu indicatorul plasat în dreptul axei lungi a antebrațului (fig. 136).

Flexia și extensia active au o amplitudine medie normală de 150°, pe arcul de cerc 0°—150°, dintre care 90° revin extensiei și 60° flexiei. Flexia pasivă și extensia pasivă au o amplitudine medie normală de 160°. Diferența dintre mobilitatea activă și cea pasivă este, deci, de 10°.



Fig. 136 — Goniometria cotului. Poziția finală a flexiei.

Mișcarea de flexie. Prin mișcarea de flexie antebrațul se apropie de braț. Amplitudinea ei activă normală este de aproximativ 150°. În faza finală a mișcării de flexie mîna nu se orientează spre umăr, ci spre torace, deoarece axa antebrațului nu se suprapune axei brațului, ci este dirijată față de acesta înăuntru. Explicația constă în orientarea oblică în sus și înăuntru a jgheabului trohleei humerale.

Mușchii flexori sînt: brahialul anterior și bicepsul, iar ca accesorii — mușchii epicondilieni.

Tabel recapitulativ al flexorilor cotului

Denumirea	Inserția	
	Proximală	Distală
Biceps brahial	Apofiză coracoidă; fațetă supraglenoidiană	Tuberozitatea bicipitală radius
Brahial anterior	Fața internă și externă a humerusului	Baza apofizei coronoide cubitus
Mușchii epicondilieni	Vezi mușchii antebrațului	

Cînd membrul superior acţionează ca un lanţ cinematic deschis, prin intrarea în contracţie a brahialului anterior şi a bicepsului, antebraţul acţionează ca o pîrghie de gradul III, cu forţa la mijloc, punctul de sprijin fiind reprezentat de articulaţia cotului, iar rezistenţa de greutatea antebraţului (vezi figura 59). Mişcarea de flexie este oprită prin pătrunderea ciocului apofizei coronoide în foseta corespunzătoare de pe faţa anterioară a paletei humerale, de ţesuturile moi din plica cotului şi de punerea sub tensiune a ligamentului posterior al articulaţiei cotului.

Mişcarea de extensie. Prin mişcarea de extensie, antebraţul se îndepărtează de braţ, ajungînd în ultima fază a mişcării să-l prelungească. Amplitudinea activă de extensie se suprapune celei de flexie şi este tot de 150°. Mişcarea de extensie este limitată de vîrful olecranului, care se opreşte în fundul fosei olecraniene, şi de ligamentul anterior al cotului, care este pus sub tensiune.

În faza finală a mişcării de extensie axa longitudinală a antebraţului nu prelungeşte rectiliniu axa longitudinală a braţului, ci formează între ele un unghi obtuz de 170°, deschis în afară *(valgusul fiziologic al cotului)*. Explicaţia constă tot în orientarea oblică în sus şi înăuntru a jgheabului trohleei humerale.

Muşchii extensori sînt în primul rînd tricepsul, iar în mod accesoriu anconeul şi unii dintre extensorii degetelor. Prin contracţia lor, antebraţul acţionează ca o pîrghie de gradul I, cu sprijinul (reprezentat de articulaţia cotului) situat la mijloc.

Tabel recapitulativ al extensorilor cotului

Denumirea	Inserţia	
	Proximală	Distală
Triceps brahial	Subglenoidian, faţa posterioară a humerusului	Olecran
Anconeu Extensori degete	Epicondil Vezi muşchii antebraţului	Olecran

În poziția stînd, mișcarea de flexie a antebrațului pe braț se realizează prin contracția izotonică a mușchilor flexori care își iau punct fix pe inserțiile proximale. Mișcarea de extensie nu se realizează prin intrarea în funcțiune a mușchilor extensori ca agoniști, ci datorită forței gravitaționale. Mișcarea de extensie este realizată tot de mușchii flexori, care contractîndu-se izometric, gradează extensia antebrațului care se extinde sub forța gravitațională.

În poziția stînd, mușchii extensori realizează extensia numai dacă brațul este abdus la 90° și rotat înăuntru, iar antebrațul atîrnă în jos. Extensia antebrațului pe braț, din această poziție, se face prin învingerea forței gravitaționale.

Cînd se face îndoirea și întinderea brațelor, în poziția stînd pe mîini, mușchii extensori preiau rolul de agoniști atît în mișcarea de extensie, cît și în aceea de flexie. Îndoirea brațelor (flectarea coatelor) în această poziție o realizează forța gravitațională pe care o gradează mușchii extensori prin contracția lor izometrică, iar întinderea brațelor (extensia coatelor) o realizează mușchii extensori prin contracția lor izotonică.

ANTEBRAȚUL

Antebrațul este segmentul membrului superior care leagă brațul de mînă.

SCHELETUL ANTEBRAȚULUI

Scheletul antebrațului este alcătuit din două oase lungi, dispuse paralel în axa lungă a segmentului : *radiusul*, situat extern, și *cubitusul*, situat intern. Ambele oase se întind pe toată lungimea segmentului, radiusul fiind mai lung în jos decît cubitusul, iar cubitusul fiind mai lung în sus decît radiusul (vezi figura 135).

Cubitusul. Cînd cotul este extins, el formează cu humerusul un unghi obtuz de 170°, deschis în afară *(valgusul fiziologic al cotului)*.

a) *Extremitatea superioară a cubitusului* a fost prezentată la cot.

b) *Corpul cubitusului*, în secțiune transversală, este prismatic triunghiular și prezintă trei fețe : *anterioară, posterioară* și *internă*, și trei margini : *anterioară, posterioară* și *externă*.

Pe fața anterioară, pe cele 3/4 superioare, se inseră mușchiul flexor profund al degetelor, iar pe pătrimea inferioară mușchiul pătratul pronator.

Pe fața posterioară se inseră de sus în jos următorii mușchi : anconeul, scurtul supinator, lungul abductor al policelui, scurtul extensor al policelui, lungul extensor al policelui și extensorul propriu al indexului.

Pe fața internă se inseră proximal mușchiul flexor profund al degetelor.

Pe marginea anterioară se inseră proximal mușchiul flexor comun al degetelor și distal mușchiul pătratul pronator.

Pe marginea posterioară se inseră proximal mușchii flexor profund al degetelor și cubitalul anterior, iar în treimea mijlocie mușchiul cubital posterior.

Marginea externă este foarte subțire și se continuă cu ligamentul interosos cubito-radial *(membrana interosoasă).*

c) Extremitatea inferioară a cubitusului este formată dintr-un *cap cilindric* care se articulează extern cu *cavitatea sigmoidă a extremității inferioare a radiusului* și dintr-o *apofiză stiloidă,* situată postero-intern față de cap, pe care se inseră ligamentul lateral intern al articulațiilor gîtului mîinii și ligamentul triunghiular (vezi figura 135, 7).

Radiusul. Spre deosebire de cubitus, care prezintă o extremitate superioară mărită ca volum și distal un cap mai mic, radiusul prezintă proximal un cap mai mic și distal o extremitate mărită.

a) *Extremitatea superioară* a fost descrisă la cot.

Sub capul radial se găsește *tuberozitatea bicipitală,* pe care se inseră bicepsul brahial. Tuberozitatea bicipitală prezintă două rădăcini : una inferioară, care devine marginea internă a radiusului și una superioară, care se îndreaptă în sus și în afară spre cap. Aceste două rădăcini fortifică radiusul în cele două direcții pe care le iau forțele ce rezultă din descompunerea forței dezvoltate de biceps în marile eforturi ale supinației *(Humpery).*

b) Corpul radiusului, în secțiune transversală, ne apare tot prismatic triunghiular, dar este dispus invers decît cubitusul, deci cu baza în afară. Prezintă trei fețe : *externă, posterioară* și *anterioară ;* și trei margini : *anterioară, posterioară* și *internă,* spre cubitus.

Pe fața anterioară se inseră în cele 2/3 superioare mușchiul flexor lung al policelui, iar în treimea inferioară mușchiul pătratul pronator.

Pe fața posterioară se inseră proximal mușchiul scurtul supinator și în rest, mușchii lungul abductor și scurtul extensor al policelui.

Pe fața externă se inseră proximal mușchiul scurtul supinator, în porțiunea mijlocie mușchiul rotund pronator, iar distal radialii externi.

Marginea anterioară pornește de la rădăcina inferioară a tuberozității bicipitale. Marginea posterioară este slab delimitată. Marginea internă este subțire, concavă și pe ea se inseră aponevroza interosoasă cubito-radială.

c) *Extremitatea inferioară a radiusului* reprezintă partea cea mai voluminoasă a osului și prezintă cinci fețe : *anterioară, posterioară, postero-externă, internă* și *inferioară.*

Fața anterioară este plană.

Fața posterioară prezintă un *șanț intern* pentru trecerea tendoanelor extensorului propriu al indexului și extensorului comun al degetelor, și un *șanț extern* pentru trecerea tendonului lungului extensor al policelui.

Fața postero-externă continuă fața externă a osului și prezintă două șanțuri : un *șanț intern* pentru trecerea tendoanelor lungului abductor al policelui și un *șanț extern* pentru trecerea scurtului extensor al policelui.

Fața internă prezintă o față articulară, concavă antero-posterior, *cavitatea sigmoidă a radiusului* (vezi figura 135, 13), care se articulează cu capul cubitusului. Sub această cavitate sigmoidă, fața internă a extremității inferioare oferă punct de inserție ligamentului triunghiular al articulației gîtului mîinii.

Fața inferioară, triunghiulară, cu baza internă, este acoperită cu cartilaj articular și reprezintă suprafața articulară a radiusului pentru articulația radio-carpiană. O creastă fină antero-posterioară împarte această suprafață articulară în două fațete, *una externă,* care se articulează cu scafoidul și *una internă,* care se articulează cu semilunarul. La partea ei cea mai externă, fața inferioară prezintă o apofiză puternică, *apofiza stiloidă a radiusului* (vezi figura 135, 15). Pe baza apofizei se inseră tendonul brahio-radialului. Pe vîrful apofizei se inseră ligamentul lateral extern al gîtului mîinii. Vîrful apofizei stiloide radiale este situat cu 1,5 cm mai jos decît vîrful stiloidei cubitale.

ARTICULAŢIILE ANTEBRAŢULUI

Cele două oase ale antebraţului se articulează între ele prin cele două extremităţi ale lor, realizînd astfel două articulaţii radio-cubitale : *superioară* şi *inferioară*. În afara acestor articulaţii, cele două oase sînt unite printr-un *ligament interosos cubito-radial*, care se întinde de la marginea externă a corpului cubitusului la marginea internă a corpului radiusului.

Articulaţia radio-cubitală superioară este o cilindroidă de tip trohoid, cu un grad de libertate (vezi figura 135, 8).

a) *Suprafeţele articulare* sînt reprezentate, de partea radiusului, de faţa cilindrică a capului radial, iar de partea cubitusului, de mica cavitate sigmoidă a extremităţii superioare a acestui os. Ambele au fost descrise la oasele cotului.

În timp ce faţeta radială are forma unui segment de cilindru plin, faţeta cubitală nu reprezintă decît a cincea parte dintr-o circumferinţă. Concavitatea feţei cubitale nu este suficientă pentru a îmbrăţişa toată întinderea cilindrului capului radial şi de aceea este completată de o bandă fibroasă, *ligamentul inelar al radiusului*. Ligamentul inelar, împreună cu mica cavitate sigmoidă realizează un segment de cilindru scobit, care înconjură, ca un inel, cilindrul plin al capului radial.

b) Cele două suprafeţe articulare sînt menţinute în contact atît de *ligamentul inelar*, cît şi de un alt ligament denumit *ligamentul pătrat* al lui *Denucé*. Ligamentul inelar are nu numai rolul de a mări suprafaţa articulară a cubitusului, ci şi de a menţine în contact suprafeţele articulare ale celor două oase.

Ligamentul pătrat este o bandă fibroasă, dispusă transversal între cubitus şi radius, imediat sub ligamentul inelar. Pe cubitus el se inseră pe marginea inferioară a micii cavităţi sigmoide, iar pe radius pe faţa internă a metafizei superioare. Cînd antebraţul este în poziţie intermediară (de repaus), ligamentul pătrat este destins, dar cînd antebraţul face mişcarea de pronaţie sau de supinaţie, partea lui posterioară şi respectiv partea lui anterioară se întind şi limitează mişcarea.

c) *Sinoviala* articulaţiei radio-cubitale superioare este dependentă de sinoviala articulaţiei humero-cubito-radiale.

Articulaţia radio-cubitală inferioară este tot o trohoidă ca şi radio-cubitala superioară, dar mai puţin desăvîrşită şi prezintă tot un grad de libertate (vezi figura 135, 13).

a) *Suprafeţele articulare* sînt reprezentate, din partea radiusului, de către *cavitatea sigmoidă*, aflată pe faţa internă a

extremității inferioare, iar din partea cubitusului — de *fațetele supero-externe și inferioare* ale capului. În cazul acestei articulații, extremitatea cubitală devine cilindru plin, în timp ce extremitatea radială reprezintă un segment de cilindru scobit.

b) Cele două suprafețe articulare sînt menținute în contact de un *ligament triunghiular* și o *capsulă fibroasă*, întărită de două *ligamente radio-cubitale.*

Ligamentul triunghiular, denumit astfel după forma lui, este dispus transversal și se inseră cu vîrful pe capul cubitusului și cu baza pe marginea inferioară a cavității sigmoide a radiusului. Prin marginile sale, anterioară și posterioară, aderă la capsula articulară. Fața lui inferioară intră în contact cu semilunarul și piramidalul.

Capsula fibroasă se inseră deasupra suprafețelor articulare radiale și cubitale, descinde atît anterior, cît și posterior, dă inserție marginilor anterioare și posterioare ale ligamentului triunghiular și se continuă cu capsula articulației radio-carpiene. Ea este întărită de două ligamente : *radio-cubital anterior* și *radio-cubital posterior.*

Sinoviala este foarte laxă și comunică în 40% din cazuri cu sinoviala articulației radio-carpiene.

Ligamentul interosos radio-cubital este o membrană fibroasă, care se întinde între diafizele celor două oase ale antebrațului, pe toată suprafața lor. Extern, se inseră pe marginea internă a corpului radiusului, iar intern, pe marginea externă a corpului cubitusului. În jos coboară pînă la articulația radio-cubitală inferioară, iar în sus se termină la aproximativ 2—3 cm sub nivelul tuberozității bicipitale, printr-un fascicul mai îngroșat și curbat cu concavitatea în sus.

Proximal de ligamentul interosos se mai observă și o bandeletă fibroasă puternică și izolată, îndreptată oblic în jos și în afară, de la baza apofizei coronoide a cubitusului la suprafața situată imediat sub tuberozitatea bicipitală, care este ligamentul cubito-radial al lui *Weitbrecht.*

MUȘCHII ANTEBRAȚULUI

Antebrațul prezintă 20 de mușchi, care pot fi împărțiți, din punct de vedere al anatomiei descriptive, în trei grupe : anteriori, posteriori și externi.

Muşchii anteriori sînt în număr de 8 şi se inseră pe feţele anterioare ale radiusului, ale ligamentului interosos şi ale cubitusului. Sînt dispuşi în patru planuri :

— primul plan, cel mai superficial, este reprezentat de 4 muşchi, care pornesc de la epitrohlee ; din afară înăuntru, aceştia sînt : *rotundul pronator, marele palmar, micul palmar* şi *cubitalul anterior* (fig. 137).

— al doilea plan este constituit de *flexorul comun superficial al degetelor* ;

— al treilea plan este alcătuit de doi muşchi : în afară — *flexorul propriu al policelui*, şi înăuntru — *flexorul comun al degetelor* ;

— al patrulea plan, cel mai profund, este reprezentat de *pătratul pronator*.

a) *Rotundul pronator* este un muşchi turtit antero-posterior, care se inseră proximal pe faţa anterioară a epitrohleei şi pe marginea internă a apofizei coronoide; în continuare se îndreaptă în jos şi în afară şi se inseră distal pe faţa externă a porţiunii mijlocii a radiusului (fig. 137,8 şi 143,2).

Este un muşchi pronator şi accesoriu, un flexor al antebraţului pe braţ.

b) *Marele palmar*, un muşchi aplatizat, se inseră proximal pe faţa anterioară a epitrohleei, apoi se îndreaptă în jos şi în afară şi se inseră distal pe faţa anterioară a bazei celui de al doilea metacarpian (fig. 137,4).

Este un flexor al mîinii pe antebraţ şi un flexor al antebraţului pe braţ. Accesoriu, este un abductor, pronator şi fixator al mîinii în timpul mişcării de prehensiune.

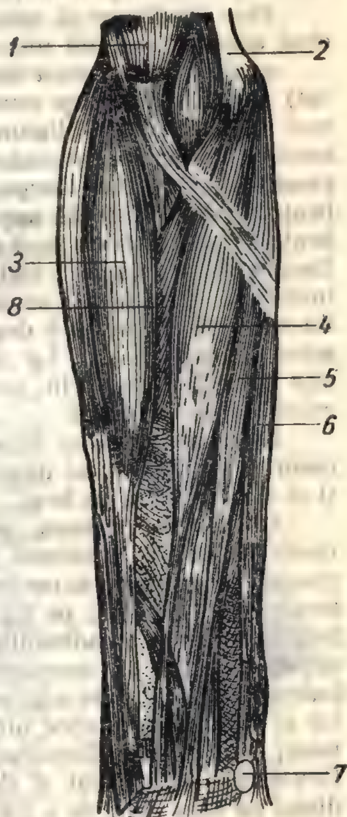


Fig. 137 — Muşchii anteriori ai antebraţului :
1 — biceps ; 2 — epitrohlee ; 3 — brahio-radial ; 4 — palmar mare ; 5 — palmar mic ; 6 — cubital anterior ; 7 — pisiform 8 — rotund pronator.

c) *Micul palmar* se inseră proximal pe fața anterioară a epitrohleei, se îndreaptă în jos și puțin în afară și se inseră distal pe ligamentul inelar al carpului și aponevroza palmară (fig. 137, 5).

Este un flexor al mîinii pe antebraț și, accesoriu, un tensor al aponevrozei palmare.

d) *Cubitalul anterior* se inseră proximal pe epitrohlee și pe marginea internă a olecranului, se îndreaptă apoi în jos și se inseră proximal pe osul piziform (fig. 137, 6).

Este un flexor al mîinii pe antebraț și un fixator al mîinii cînd aceasta execută mișcarea de prehensiune.

e) *Flexorul comun superficial al degetelor* (flexorul perforat) prezintă un corp muscular aplatizat, care se inseră proximal pe epitrohlee, ligamentul lateral intern al articulației cotului, marginea internă a apofizei coronoide și marginea anterioară a radiusului. Corpul muscular ocupă, toată lățimea antebrațului. Se îndreaptă apoi în jos și în treimea mijlocie a antebrațului se ramifică în 4 fascicule musculare, care se continuă fiecare cu un tendon. Cele 4 tendoane trec pe sub ligamentul inelar al carpului și se depărtează ușor între ele, îndreptîndu-se către ultimele 4 degete, pe care se inseră la nivelul bazelor falangelor doi. La nivelul degetelor, tendoanele prezintă cîte o perforație, prin care trece tendonul respectiv a flexorului comun profund.

Este un flexor al falangelor doi pe primele falange și, accesoriu, un flexor al degetelor pe mînă, al mîinii pe antebraț și al antebrațului pe braț.

f) *Flexorul comun profund al degetelor* (flexorul perforant) se inseră proximal pe treimea superioară a feței anterioare, pe treimea superioară a marginii interne și a feței interne a cubitusului, pe ligamentul interosos cubito-radial și pe fața anterioară a radiusului, sub tuberozitatea bicipitală. Se îndreaptă în jos și, asemenea flexorului superficial, formează patru tendoane, care alunecă pe sub ligamentul inelar al carpului și se îndreaptă spre ultimele patru degete. La nivelul degetelor, tendoanele flexorului profund perforează tendoanele flexorului superficial și devin deci superficiale. Ele se inseră distal pe baza celei de a treia falange.

Este un flexor al falangei a treia pe falanga a doua și, accesoriu, un flexor al falangei a doua pe prima, a degetelor pe mînă și a mîinii pe antebraț.

g) *Lungul flexor propriu al policelui* se inseră proximal pe cele 3/4 superioare ale feței anterioare a radiusului și pe mar-

ginea externă a apofizei coronoide, apoi se îndreaptă vertical în jos, trece pe sub ligamentul inelar anterior al carpului și se inseră distal pe baza ultimei falange a policelui.

Este un flexor al ultimei falange a policelui pe prima falangă și, accesoriu, un flexor al policelui pe mînă.

h) *Pătratul pronator* este un mușchi plat, de formă patrulateră, situat la partea inferioară a antebrațului, între marginea anterioară a cubitusului și marginea și fața anterioară a radiusului (fig. 143, 2).

Cînd ia punct fix pe cubitus, este un pronator.

Mușchii posteriori sînt în număr tot de 8 și sînt dispuși în două planuri (fig. 138) :

— un plan superficial, format din patru mușchi turtiți, care se inseră proximal pe epicondil și se îndreaptă în jos și înăuntru ; din afară-înăuntru aceștia sînt următorii : extensorul comun al degetelor, extensorul propriu al degetului mic, cubitalul posterior și anconeul ;

— un plan profund, format din 4 mușchi subțiri, care se îndreaptă în jos și în afară (deci se încrucișează cu mușchii planului superficial) ; din afară-înăuntru aceștia sînt următorii : lungul abductor al policelui, scurtul extensor al policelui, lungul extensor al policelui și extensorul propriu al indexului.

a) *Extensorul comun al degetelor* este un mușchi aplatizat. Se inseră proximal pe fața posterioară a epicondilului, se îndreaptă vertical în jos, formează 4 tendoane care, după ce trec pe sub ligamentul inelar carpian posterior, se îndreaptă spre ultimele 4 degete (fig. 138,3). La nivelul articulației metacarpofalangiene, pe marginile fiecărui tendon, se inseră expansiunile lombricalilor și interosoșilor. Toate aceste tendoane și expansiuni alcătuiesc împreună *aponevroza dorsală a degetelor*, care se împarte în trei languete, una mediană și

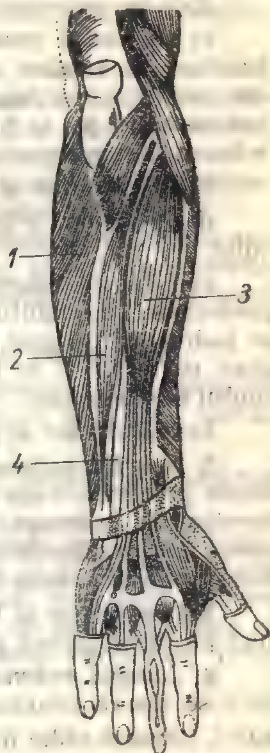


Fig. 138 — **Mușchii posteriori ai antebrațului :**

1 — cubital anterior, 2 — cubital posterior, 3 — extensor comun degete, 4 — extensor propriu index.

două laterale. Langueta mediană se fixează pe baza primei falange, iar cele două languete laterale se inseră împreună pe baza falangei a treia.

Este un extensor al falangei a treia pe falanga a doua, al falangei a doua pe prima, al primei pe metacarp, al mîinii pe antebraţ şi al antebraţului pe braţ.

b) *Extensorul propriu al degetului mic* este lung şi subţire, se inseră proximal pe faţa posterioară a epicondilului, se îndreaptă vertical în jos şi la nivelul degetului mic se uneşte cu tendonul extensorului comun al acestui deget.

Este un extensor al degetului mic.

c) *Cubitalul posterior* (extensorul cubital al mîinii) este fuziform şi subţire, se inseră proximal pe faţa posterioară a epicondilului, pe faţa şi marginea posterioară a cubitusului, se îndreaptă în jos şi înăuntru şi se inseră distal pe faţa internă a bazei metacarpianului al cincilea (fig. 138,2).

Este extensor şi abductor al mîinii pe antebraţ.

d) *Anconeul* a fost prezentat la muşchii posteriori ai cotului.

e) *Lungul abductor al policelui* se inseră proximal pe feţele posterioare ale cubitusului, radiusului şi ligamentului interosos, se îndreaptă vertical în jos, trece pe sub ligamentul inelar carpian posterior şi se inseră distal pe faţa externă a bazei primului metacarpian.

Este abductor al policelui şi abductor şi supinator al mîinii.

f) *Scurtul extensor al policelui* se inseră proximal tot pe feţele posterioare ale cubitusului, radiusului şi ligamentului interosos. Se îndreaptă vertical în jos, trece pe sub ligamentul inelar carpian posterior şi se inseră distal pe faţa posterioară a bazei celei de a doua falange a policelui.

Este extensor al falangei a doua a policelui pe prima, a primei pe metacarpian şi a metacarpianului pe carp.

g) *Lungul extensor al policelui* este un muşchi fuziform, care se inseră proximal pe faţa posterioară a corpului cubitusului, coboară oblic în afară spre gîtul mîinii, alunecă prin şanţul extern al feţei posterioare a radiusului, delimitează tabachera anatomică şi trece pe faţa posterioară a primului metacarpian şi a falangei proximale a policelui, pentru a se insera distal pe faţa posterioară a bazei falangei distale a policelui.

Este un extensor al policelui.

h) *Extensorul propriu al indexului* se inseră proximal pe fața posterioară a cubitusului și a ligamentului interosos, se îndreaptă în jos, trece pe sub ligamentul inelar carpian posterior și se inseră pe tendonul extensorului comun pentru index (fig. 138, 4).

Este extensor al indexului.

Mușchii externi sînt în număr de 4 și anume : *brahio-radialul, primul radial extern, al doilea radial extern* și *scurtul supinator.*

a) *Brahio-radialul* (lungul supinator) se inseră proximal pe marginea externă a humerusului, sub șanțul de torsiune, se îndreaptă în jos și se inseră distal pe apofiza stiloidă a radiusului (vezi figurile 137, 3 și 143, 3).

Este flexor al antebrațului pe braț și, accesoriu, intervine în mișcarea de pronație și de supinație. Cînd antebrațul este în supinație, realizează o mișcare de pronație pînă cînd antebrațul ajunge în poziție intermediară (poziție de repaus). Cînd antebrațul este în pronație forțată, realizează o mișcare de supinație pînă cînd antebrațul ajunge în poziție intermediară.

b) *Primul radial extern* se inseră proximal pe marginea externă a humerusului, sub lungul supinator, se îndreaptă vertical în jos și se inseră distal pe fața posterioară a bazei celui de-al doilea metacarpian.

Este un extensor și abductor al mîinii pe antebraț.

c) *Al doilea radial extern* se inseră proximal pe epicondil și distal pe fața posterioară a bazei celui de al treilea metacarpian.

Este extensor al mîinii pe antebraț și, accesoriu, abductor al mîinii pe antebraț.

d) *Scurtul supinator* se inseră proximal pe o fațetă rugoasă, situată sub mica cavitate sigmoidă, și pe marginea externă a cubitusului, se îndreaptă oblic în jos, înconjură treimea superioară a radiusului și se inseră distal pe fața anterioară și externă a radiusului, deasupra rotundului pronator (vezi figura 143, 4).

Este supinator al antebrațului.

BIOMECANICA ANTEBRAȚULUI

Antebrațul este astfel structurat încît să permită realizarea unor mișcări caracteristice : mișcarea de pronație și de supinație.

Tabel recapitulativ al mușchilor antebrațului

Grupa	Denumirea	Inserția		Acțiunea
		Proximală	Distală	
1	2	3	4	5
Mușchii anteriori	Rotundul pronator	Epitrohlee	1/3 medie a radiusului	Pronator, flexor al antebrațului
	Mare palmar	Epitrohlee	Bază metacarp II	Flexor al mîinii, flexor al antebrațului, abductor al mîinii, pronator, fixator al mîinii
	Mic palmar	Epitrohlee	Ligamentul inelar carpian	Flexor al mîinii, tensor al aponevrozei palmare
	Cubital anterior	Epitrohlee	Piziform	Flexor al mîinii, fixator al mîinii
	Flexor comun superficial	Epitrohlee, marginea anterioară a radiusului	Baza falangelor II a ultimelor 4 degete	Flexor al degetelor II—V; flexor al antebrațului
	Flexor comun profund	1/3 superioară a cubitusului și radiusului	Baza falangelor III a ultimelor 4 degete	Flexor al degetelor II—V; flexor al mîinii
	Lung flexor propriu al policelui	3/4 superioare ale radiusului	Baza ultimei falange a policelui	Flexor al policelui
	Pătrat pronator	3/4 inferioare ale radiusului	3/4 inferioare ale cubitusului	Pronator
Mușchii posteriori	Extensor comun al degetelor	Epicondil	Baza falangelor II, III, ale ultimelor 4 degete	Extensor al degetelor II—V; extensor al mîinii, extensor al antebrațului
	Extensor propriu al degetului mic	Epicondil	Tendonul extensorului comun	Extensor al degetului mic

1	2	3	4	5
	Cubital posterior	Epicondil	Baza metacarpianului V	Extensor şi adductor al miinii
	Anconeu	Epicondil	Olecran	Extensor al antebraţului pe braţ
	Lung abductor al policelui	Radius şi cubitus	Baza metacarpianului I	Abductor al policelui, abductor şi supinator al miinii
	Scurt extensor al policelui	Radius şi cubitus	Baza falangei II a policelui	Extensor al policelui, extensor metacarpian I
	Lung extensor al policelui	Cubitus	Baza falangei II a policelui	Extensor al policelui
	Extensor propriu al indexului	Cubitus	Tendonul extensorului comun	Extensor al indexului
Muşchii externi	Brahio-radial	Humerus	Stiloidă radius	Flexor al antebraţului, pronator-supinator
	Primul radial extern	Humerus	Baza metacarpianului II	Extensor al miinii, abductor al miinii
	Al doilea radial extern	Epicondil	Baza metacarpianului III	Extensor al miinii, abductor al miinii
	Scurtul supinator	Apofiză coronoidă	Faţa anterioară şi externă a radiusului	Supinator

Mișcările de pronație și de supinație ale antebrațului reprezintă o importantă componentă a exercițiilor fizice a membrelor superioare. În supinație, antebrațul se răsucește în afară, iar în pronație se răsucește înăuntru.

Etimologic — pronația vine de la cuvîntul latin *pronare*, iar supinația de la *supinare*.

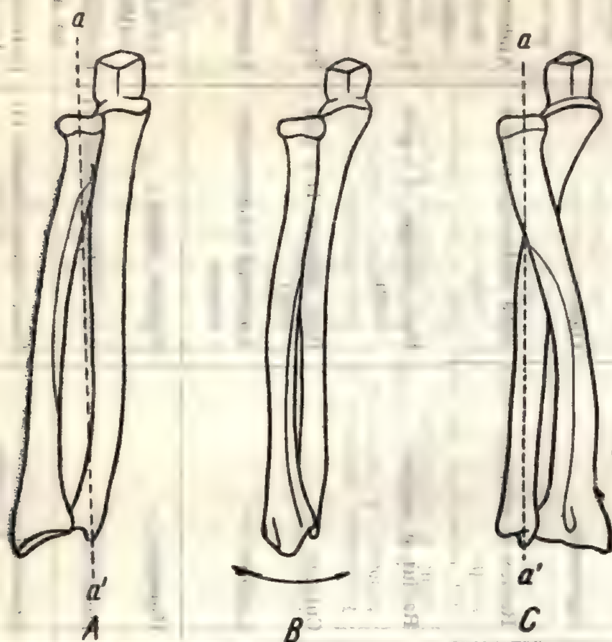


Fig. 139 — **Deplasarea extremității inferioare a radiusului în jurul axei aa' în mișcările de pronație și supinație:**

A — supinație completă, B — poziția intermediară, C — pronație completă.

Forma oaselor antebrațului joacă un rol important. Radiusul fiind mai lung în jos decît cubitusul, permite ca extremitatea lui inferioară să realizeze în jurul extremității inferioare a cubitusului o mișcare de învăluire (fig. 139). În plus, radiusul nu este rectiliniu, ci bicudat. Pînă la tuberozitatea bicipitală este oblic în jos înăuntru (*cotul supinator*, deoarece pe el se inseră mușchii supinatori), iar sub tuberozitatea bicipitală este oblic în jos și în afară (*cotul pronator*, deoarece pe el se

inseră mușchii pronatori). Cum se exprimă *Masmonteuil* — cele două oase ale antebrațului au aspectul unui dublu villbrochen, care are ca pivot cele două articulații radio-cubitale.

În timpul mișcărilor de prono-supinație, cele două articulații radio-cubitale acționează concomitent, ele formînd din punct de vedere funcțional o singură articulație și găsindu-se totdeauna într-o poziție similară de pronație sau de supinație *(legea homologiei celor două articulații).*

Deși unii autori (*Tanton, A. M. Mir-Kasimov* etc.) contestă acest fapt, majoritatea celorlalți autori (*M. Billet, G. Panzacchoni, De La Carma* și colab. etc.) au demonstrat că spațiul interosos interradio-cubital prezintă în cursul mișcării o serie de modificări, mărindu-se fie în poziția intermediară de semiprono-supinație, fie în poziție de supinație maximă.

Membrana interosoasă radio-cubitală, care umple acest spațiu, poate fi considerată un veritabil ligament extraarticular și dispune de o mecanostructură proprie care-i dezvăluie rolul pe care îl joacă în mișcările de prono-supinație. În cele trei pătrimi superioare ale ei, fibrele sînt îndreptate oblic de sus în jos și de la radius spre cubitus, iar în pătrimea inferioară direcția lor se inversează. Această orientare face ca diferitele forțe de tracțiune și de compresiune directă asupra membranei să poată fi în diferitele poziții și mișcări ale antebrațului, repartizate în mod uniform asupra celor două oase. Ea face, de asemenea, ca fibrele membranei interosoase să fie în special solicitate de forțele de presiune, cum se întîmplă în poziția stînd pe mîini (fig. 140, a) și mai puțin la forțele de tracțiune, cum se întîmplă în poziția atîrnat (fig. 140, b).

În diferitele poziții și mișcări membrana interosoasă se găsește în variate stări de tensiune. Deși *J. Patrick* consideră că aceste stări de tensiune ar fi insignifiante, marea majoritate a autorilor, printre care *Von Lanz, Wachsmuth, Fang* și colab., *Monticelli, Perugia* și *Tucci* au demonstrat că starea de tensiune a membranei interosoase este maximă în poziția intermediară de semiprono-supinație și că ea diminuează în poziția de pronație.

Axa biomecanică a mișcării. După concepția clasică, mișcările de pronație și supinație, care sînt mișcări de rotație, se execută în jurul unei axe verticale, ce trece prin mijlocul cupușoarei radiale, se îndreaptă diagonal în jos, atinge marginea medială a apofizei stiloide cubitale și se îndreaptă spre baza celui

de al cincilea deget (fig. 141, a). Conform acestei teorii, care exclude orice posibilitate de mişcare simultană a cubitusului, capul radial se rotează în articulaţia radio-cubitală superioară, în jurul axei biomecanice, în timp ce extremitatea inferioară a radiusului se deplasează, din articulaţia radio-cubitală inferioară, în jurul extremităţii inferioare a cubitusului. Mişcarea s-ar realiza astfel, exclusiv prin rotaţia extremităţii superioare

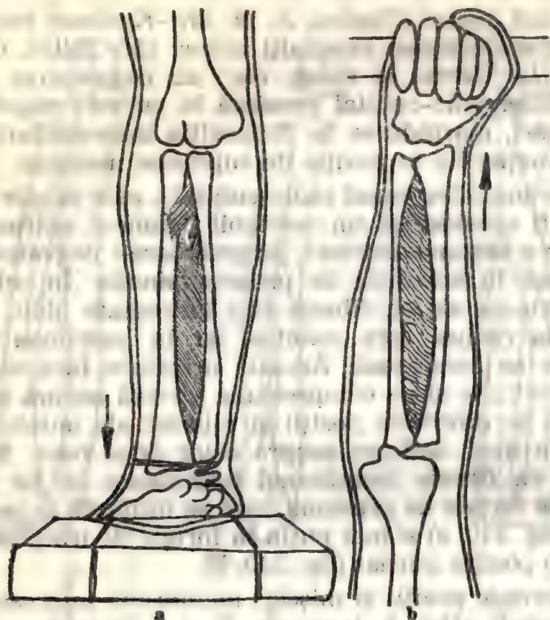


Fig. 140 — Starea de tensiune a membranei interosoase radio-cubitale este mai mare în poziţia stînd pe mîini (a), decît în poziţia atîrnat (b).

şi translaţia extremităţii inferioare a radiusului, în jurul cubitusului care ar juca rol de pivot fix.

O serie de autori (*Gregoire, Hultkrantz, Poirier, Langgenhager, Foerster* etc.) consideră că axa biomecanică se găseşte situată mai lateral, trecînd în afara epifiziei distale cubitale şi îndreptîndu-se spre baza celui de al treilea deget (fig. 141, b). Ea ar trece astfel chiar prin planul medio-sagital al antebraţului şi al mîinii.

S-a constatat însă că, în timpul mişcărilor, cubitusul nu rămîne imobil şi că axa bimecanică de mişcare nu este stabilă, direcţia ei variind în raport cu diferitele necesităţi de mişcare atît ale antebraţului, cît şi ale întregului membru superior. *Kisselbach* ajunge astfel să sistematizeze următoarele trei subtipuri de prono-supinaţie, legate de posibilităţile complexe de mişcare ale membrului superior.

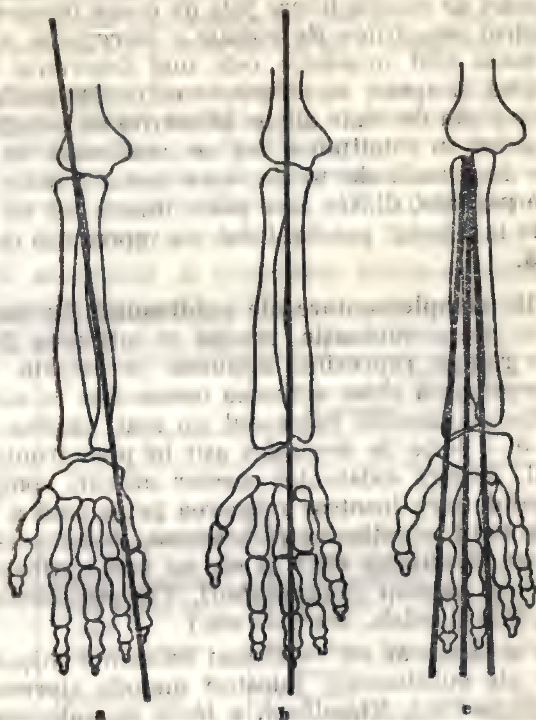


Fig. 141 — Axa biomecanică a mişcării de prono-supinaţie:
a — concepţia clasică, b — concepţia lui Gregoire-Langgenhager, c — concepţia modernă.

A. *Mişcări de rotaţie pură a radiusului, faţă de axa imobilă a cubitusului.* Aceste mişcări se întîlnesc foarte rar şi se realizează, din punct de vedere al mecanismului, conform concepţiei clasice descrise anterior.

B. *Mişcări de rotaţie liberă faţă de o axă biomecanică variabilă în cadrul mişcărilor izolate ale antebraţului.* Axa bio-

mecanică se deplasează în timpul mișcărilor diagonal în afară. Superior, ea continuă să treacă prin cupușoara radială, dar inferior se prelungește undeva într-un punct situat pe o distanță mai largă, între baza celui de al treilea deget pînă la baza policelui (fig. 141, c). Este vorba, deci, de o migrațiune a axei în raport cu necesitățile de mișcare a antebrațului (*Rose-Innes, Burman, Lutz, Ray* și colab.).

C. *Mișcări de rotație libere față de o axă biomecanică variabilă, în cadrul mișcărilor de rotație a întregului membru superior.* Acestea sînt mișcările cele mai frecvente întîlnite în educația fizică și sport, în diferitele activități profesionale, ca dealtfel și în viața de toate zilele. Mișcările de rotație ale membrului superior în totalitatea lui se realizează în jurul mai multor axe longitudinale totale, care rezultă dintr-o serie de diferite axe parțiale, dintre care axele mișcărilor de pronație și supinație de la nivelul antebrațului nu reprezintă decît o parte componentă.

Mișcările complementare ale cubitusului. În toate cele trei subtipuri de prono-supinație, rotația și mișcarea de învăluire realizate de radius reprezintă acțiunea principală. În primul tip, A, ea reprezintă chiar acțiunea unică. Dar în subtipurile B și C ale prono-supinației cubitusul nu mai rămîne imobil, ci prezintă și el o serie de deplasări atît în plan frontal, cît și în plan sagital. Asupra existenței acestor mișcări complementare ale cubitusului, care însoțesc mișcarea principală a radiusului, s-a atras de mult atențiunea (*Duchenne, Holtkrantz, Winslow, Fick, Strasser, Brauselze* etc.), și ele au fost confirmate de toți cercetătorii mai recenți (*Benninghoff, Vaquero-Gonzales, Prasi* și *Randelli, Ray* și colab., *Burman* etc.).

Trevisi și *Sciascia* au confirmat existența mișcărilor complementare ale cubitusului, folosind metoda stereoscopică roentgenfotogrametrică, *Kisselbach* a făcut un interesant experiment pe el însuși, introducînd două broșe Kirschner în prelungirea cubitusului și radiusului și urmărind deplasarea capetelor libere ale broșelor, în timpul mișcărilor de pronosupinație.

Rezultatele coroborate ale tuturor acestor cercetări au arătat că, dacă se pleacă din poziția de pronație maximă pentru a se atinge poziția de supinație maximă, cubitusul se deplasează la început în extensie și spre înăuntru, iar la sfîrșit în flexie și în afară (fig. 142). Mișcările de lateralitate ale cubitusului, după *Castaing*, nu au o amplitudine mai mare de 10°.

Mişcările complementare ale humerusului. Nu numai cubitusul, ci şi humerusul prezintă în cursul prono-supinaţiei o serie de mişcări complementare. Cînd prono-supinaţia se realizează cu cotul la unghiul drept, odată cu supinaţia antebraţului, se produce şi o rotaţie internă a humerusului, iar odată cu pronaţia antebraţului se produce o mişcare de rotaţie externă a humerusului. Prima provoacă o deplasare în adducţie a cubitusului, iar secunda deplasarea în abducţie. Mişcările complementare de rotaţie ale humerusului au o amplitudine de 9—12°.

Lanţul muscular. Prono-supinaţia este realizată de un cuplu de forţe musculare antagoniste, reprezentat, pe de o parte, de muşchii pronatori şi, pe de altă parte, de muşchii supinatori. Valoarea cinetică a acestor două grupe musculare este, după *Paparella-Trecia,* practic identică : 1,6 kilogrammetri pentru pronatori şi 1,7 kilogrammetri pentru supinatori (fig. 143).

Tabelul schematic al muşchilor prono-supinatori, cu inserţiile lor este următorul :

Grupa	Denumirea	Inserţia	
		Centrală	Periferică
1	2	3	4
PRONATORI			
a) Principali	Rotund pronator	Epitrohlee humerus	1/3 medie radius
	Pătrat pronator	1/4 inf. cubitus	1/4 inf. radius
b) Accesorii	Prim radial extern	Epicondil	Bază metacarp II
	Marele palmar	Epitrohlee humerus	Bază metacarp II
	Brahio-radial	Humerus	Stiloidă radius
	Anconeu	Epicondil humerus	Olecran cubitus
SUPINATORI			
a) Principali	Scurt supinator	Apofiză coronoidă cubitus	Faţa antero-externă radius
	Biceps brahial	Humerus-omoplat	Tuberozitatea bicipitală radius
b) Accesorii	Brahio-radial	Humerus	Stiloidă radius
	Extensor propriu index	Cubitus	Tendon extern comun dg.
	Lung extensor police	Cubitus	Bază falangă II police

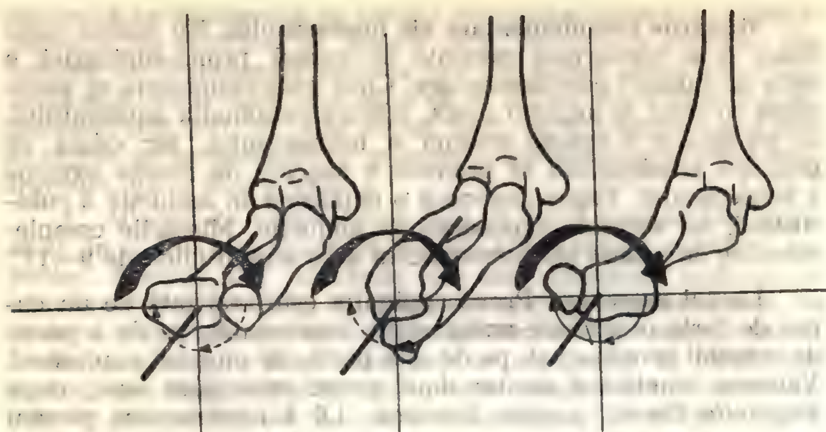


Fig. 142 — Mecanismul pronației cu punct de plecare din poziția de supinație maximă. Mișcările complementare ale cubitusului.

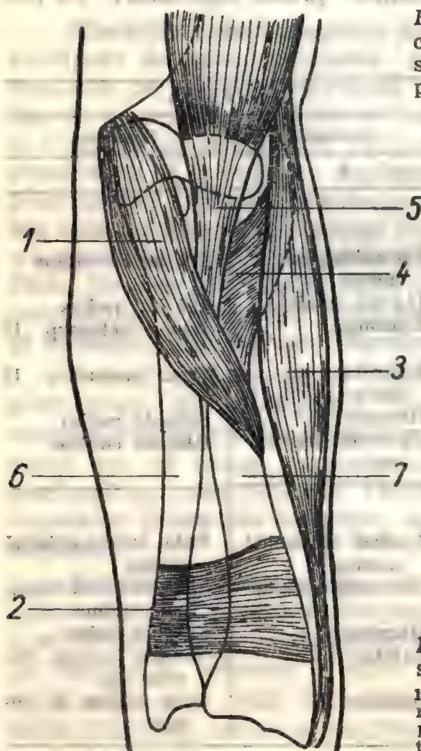


Fig. 143 — Mușchii pronatori și supinatori :

1 — rotund pronator, 2 — pătrat pronator, 3 — brahio-radial, 4 — scurt supinator, 5 — biceps brahial, 6 — cubitus, 7 — radius.

Mişcarea de pronaţie se realizează prin acţiunea a 2 muşchi principali : rotundul mare şi pătratul mare (fig. 143,1,2) şi a mai multor muşchi accesorii. Rotundul pronator acţionează cu maximum de forţă la începutul mişcării de pronaţie, în timp ce pătratul pronator acţionează cu maximum de forţă spre sfîrşitul mişcării de pronaţie.

Un alt muşchi care intervine indirect în realizarea pronaţiei este anconeul, care ar avea rolul, după *K. Langgenhager*, de a deplasa cubitusul în afară, în timp ce radiusul se roteazǎ în sens opus.

Mişcarea de supinaţie se realizează tot prin acţiunea a 2 muşchi principali, *scurtul supinator* şi *bicepsul brahial* (fig. 143,4 şi 5) şi a mai multor muşchi accesorii. Scurtul supinator este supinatorul principal şi acţionează cu maximum de forţă, în tot cursul mişcării, atunci cînd antebraţul este extins pe braţ. Cînd mişcarea de prono-supinaţie se execută însă cu cotul flectat la unghi drept, bicepsul brahial devine cel mai important supinator, deoarece în această poziţie el dispune de o pîrghie virtuală şi de un moment al muşchiului maxime (vezi figura 59).

Dintre muşchii accesorii, o acţiune mai complexă o prezintă brahio-radialul. El este pronator, cînd se porneşte din poziţia de supinaţie maximă pînă la atingerea poziţiei intermediare de semiprono-supinaţie şi este supinator cînd se porneşte din poziţia de pronaţie maximă, pînă la atingerea poziţiei intermediare de semiprono-supinaţie.

Elemente limitatorii. Prono-supinaţia este limitată în primul rînd de tonusul muşchilor pronatori şi supinatori şi prin punerea în tensiune a tuturor ţesuturilor moi ale antebraţului.

Pronaţia este limitată prin încrucişarea radiusului pe cubitus şi comprimarea între ele a flexorului profund al degetelor şi flexorului propriu al policelui.

Diversele ligamente intervin şi ele. Ligamentul pătrat al lui *Denucé*, al articulaţiei radio-cubitale superioare, care este relaxat în poziţia intermediară de semiprono-supinaţie, se pune în tensiune la partea lui anterioară în timpul supinaţiei maxime şi la partea lui posterioară în timpul pronaţiei maxime. De o importanţă şi mai mare este ligamentul triunghiular al articulaţiei radio-cubitale inferioare. Supinaţia maximă este limitată de punerea sub tensiune a fasciculului lui anterior, iar pronaţia maximă de punere sub tensiune a fasciculului său

posterior. Ruptura ligamentului triunghiular sau smulgerea stiloidei cubitale de la bază atrage, ca o consecință imediată, apariția luxației radio-cubitale inferioare.

Goniometria. Recomandăm ca determinarea goniometrică să se facă cu ajutorul unei planșete gradate, așezată pe o masă de o înălțime potrivită. Bolnavul, stînd pe un scaun, este plasat cu brațul bine fixat la masă, pe zona unghiulară hașurată a

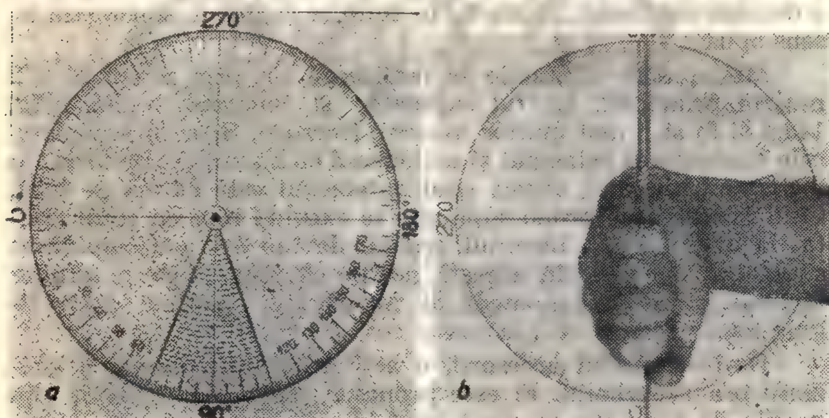


Fig. 144 — Goniometria prono-supinației pe planșeta Baciu : a — planșeta și b — poziția goniometrică de plecare în supinația maximă.

planșetei, cu vîrful olecranului în centrul planșetei, cu antebrațul orientat la zenit, ținînd în mînă un băț a cărui lungime depășește diametrul cercului gradat al planșetei. Urmărirea amplitudinii de mișcare se va face privindu-se de sus în jos (fig. 144).

Amplitudinea medie normală a prono-supinației active (în această poziție în care brațul bine fixat pe planșetă nu permite intrarea în joc și a articulației scapulo-humerale) este de 180°. Amplitudinea prono-supinației pasive este de 190°, deci diferența dintre mobilitatea pasivă și cea activă este de 10°.

Arcul de cerc pe care se realizează mișcarea pornește de la poziția de supinație maximă, considerată drept punctul zero (poziția goniometrică de start) și se termină la poziția de pronație maximă, considerată drept poziție goniometrică finală. În mod normal, semicercul pe care se execută mișcarea nu este situat exact în plan frontal, ci deplasat în sensul supinației cu 15°.

Amplitudinea mişcării. Amplitudinea prono-supinaţiei variază cu vîrsta, sexul, starea de antrenament şi caracteristicile individuale ale subiecţilor. În general, se poate considera că ea este de 180° pe arcul de cerc 0° (supinaţia maximă=poziţia anatomică a antebraţului = poziţia goniometrică de start), pînă la 180° (pronaţie maximă=poziţie goniometrică finală).

Variaţiile individuale ale amplitudinii prono-supinaţiei au fost studiate de către *J. Lutz* şi pot fi schematizate în următorul tabel.

Vîrsta	Sexul	Amplitudinea limită	Valori medii
Sub 7 ani	B şi F	180°–180°	155°
7–13 ani	B şi F	140°–180°	163°
20–30 ani	B	124°–178°	152°
	F	136°–186°	161°
30–60 ani	B	125°–180°	152°
	F	135°–190°	162°
peste 60 ani	B	105°–170°	143°
	F	120°–175°	148°

După cum rezultă din aceste date, înaintarea în vîrstă atrage diminuarea amplitudinii de mişcare, iar femeile prezintă, în cadrul fiecărui grup de vîrstă, amplitudini mai mari decît bărbaţii.

În mişcările de rotaţie ale întregului membru superior, la amplitudinile de prono-supinaţie ale antebraţului se asociază şi mişcările de rotaţie ale braţului, realizate în articulaţia scapulo-humerală. Aceasta face ca amplitudinea totală de rotaţie a întregului membru superior să se dubleze faţă de amplitudinea de prono-supinaţie a antebraţului, ajungînd astfel la 360°. Dublarea valorii amplitudinii de mişcare se datoreşte, în primul rînd, rotaţiei interne a humerusului, care este de 150° şi mai puţin rotaţiei externe a humerusului, care nu contribuie decît cu 30° (*Masmonteuil*).

Prono-supinaţia în unele exerciţii fizice. Prono-supinaţia antebraţului este o componentă de o deosebită importanţă a tuturor mişcărilor care se execută cu membrele superioare, indiferent dacă acestea acţionează ca lanţuri cinematice deschise sau închise. În plus, prono-supinaţia este indispensabilă formelor complexe ale prehensiunii diverselor unelte de muncă,

aparate și instrumente sportive, deoarece datorită ei fața palmară a mîinii se poate orienta în toate direcțiile.

Fiecare poziție sau mișcare din cadrul exercițiilor fizice presupune o amplitudine convenabilă de prono-supinație. Cînd membrul superior acționează ca un lanț cinematic deschis putem întîlni, de exemplu, următoarele situații — din punct de vedere al amplitudinilor de prono-supinație :

Exerciții fizice	Amplitudinea prono-supinației
Floretă	0°=supinație maximă
Suliță	90°=semiprono-supinație
Canotaj	120°—180°
Greutate, disc, volei	180°=supinație maximă

În condițiile de lucru ale lanțului cinematic deschis, grupele musculare prono-supinatoare acționează luîndu-și punct fix de inserție pe capetele lor centrale, se contractă izotonic și acționează asupra capetelor lor periferice.

Cînd membrul superior acționează ca un lanț cinematic închis, putem întîlni următoarele situații :

Exerciții fizice	Amplitudinea prono—supinației
Atîrnat cu mîinile răsucite în afară	0°=supinație maximă
Atîrnat și cățărat pe frînghie	90°=semiprono-supinație
Atîrnat cu mîinile răsucite înăuntru	180°=pronație maximă

În condițiile de lucru ale lanțului cinematic închis, grupele musculare prono-supinatoare acționează luîndu-și punct fix de inserție pe capetele lor periferice (spre punctele de sprijin), se contractă izometric sau izotonic și acționează asupra capetelor lor centrale.

Blocarea mișcărilor de prono-supinație, datorită diverselor cauze de ordin patologic (fracturi vicios consolidate ale oaselor antebrațului, sinostoze radio-cubitale congenitale sau cîștigate etc.), tulbură profund posibilitățile de mișcare a membrelor superioare.

GÎTUL MÎINII ŞI MÎNA

Membrul superior se termină printr-un segment deosebit de perfecţionat, indispensabil complicatelor procese de prehensiune şi muncă — mîna. Acest segment terminal al membrului superior este, pe de o parte, un organ perfecţionat de mişcare alcătuit din 27 segmente osoase, 30 articulaţii şi 19 muşchi intrinseci şi, pe de altă parte, un organ specializat al sensibilităţii.

Denumirea de mînă provine de la latinescul *manus*, derivat din *manipulus*. Chiar denumirea de om provine, în unele limbi, cum ar fi engleza (om=the man) sau germana (om=der Mann), chiar de la latinescul *manus*. Într-adevăr, dezvoltarea filogenetică a omului nu ar fi posibilă fără o dezvoltare corespunzătoare a mîinii, fără apariţia posibilităţii complexe de prehensiune. (Vezi capitolul „Biologia locomoţiei umane“, subcapitolul : „Tipurile de postură şi de locomoţie“).

Prin gîtul mîinii înţelegem regiunea care face legătura între antebraţ şi mînă, regiune denumită în mod greşit *pumn*. Greşeala provine de acolo că termenul de pumn a fost tradus din franţuzescul *poignet*, care se referă într-adevăr la această regiune. Dar, în limba română curentă, termenul de pumn se referă la mîna cu degetele strînse. Pentru a evita orice confuzie, vom folosi, după recomandarea acad. *Al. Rădulescu*, denumirea de *gîtul mîinii*. Vom studia gîtul mîinii împreună cu mîna, deoarece alcătuiesc un tot funcţional.

SCHELETUL GÎTULUI MÎINII ŞI AL MÎINII

Cele 27 oase care alcătuiesc scheletul gîtului mîinii şi ale mîinii sînt reprezentate de trei grupe : *oasele carpiene, oasele metacarpiene* şi *oasele degetelor*.

Oasele carpiene, 8 la număr, sînt scurte, dispuse în două rînduri : un *rînd superior* sau *antibrahial* şi un *rînd inferior* sau *metacarpian* (fig. 145). Din afară înăuntru ele sînt următoarele :

— rîndul superior : scafoid, semilunar, piramidal, pisiform ;

— rîndul inferior : trapez, trapezoid, osul mare, osul cu cîrlig.

Pisiformul este dispus înaintea piramidalului şi nu ia parte la alcătuirea articulaţiei radio-carpiene. Celelalte 3 oase ale primului rînd realizează împreună un condil carpian, care se

articulează cu fața inferioară a extremității inferioare a radiusului și cu fața inferioară a ligamentului triunghiular radiocubital.

Se poate considera că, în general, oasele carpiene au o formă neregulată cuboidă și fiecare prezintă șase fețe orientate superior, inferior, anterior, posterior, intern și extern. Fețele superioare, inferioare și laterale sînt fețe articulare, iar fețele anterioare și posterioare nu sînt articulare. În realitate însă, fiecare os carpian prezintă o serie întreagă de particularități anatomice, peste care noi vom trece cu vederea.

Oasele metacarpiene, în număr de 5, sînt lungi, așezate cu extremitatea lor proximală (baza) spre rîndul metacarpian al oaselor carpiene, iar prin extremitatea lor distală (cap) se continuă cu oasele degetelor. Se numerotează de la 1 la 5, din afară înăuntru, metacarpianul degetului mare fiind primul (fig. 146,11).

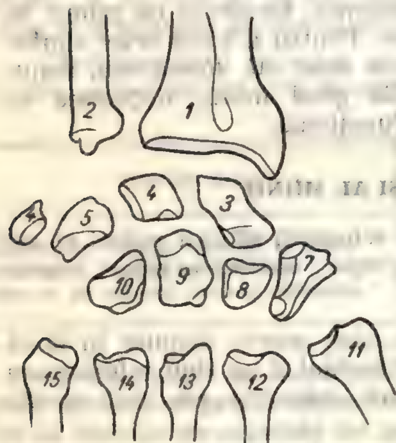


Fig. 145 — Schema oaselor gîtului mîinii (fața posterioară) :

1 — extremitatea inferioară radius, 2 — extremitatea inferioară cubitus, 3 — scafoid, 4 — semilunar, 5 — piramidal, 6 — pisiform, 7 — trapez, 8 — trapezoid, 9 — os mare, 10 — os cu cîrlig, 11, 12, 13, 14 și 15 — bazele metacarpienelor.

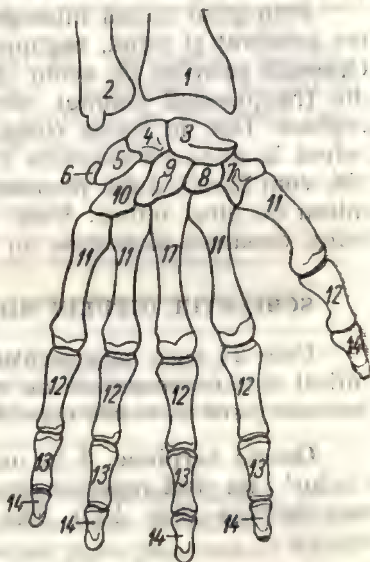


Fig. 146 — Oasele gîtului mîinii (fața dorsală) :

1 — extremitatea inferioară a radiusului, 2 — extremitatea inferioară a cubitusului, 3 — scafoid, 4 — semilunar, 5 — piramidal, 6 — pisiform, 7 — trapez, 8 — trapezoid, 9 — os mare, 10 — os cu cîrlig, 11 — metacarpiene, 12 — falangă proximală, 13 — falangă mijlocie, 14 — falangă distală.

Oasele degetelor sînt tot oase lungi, se numesc falange și continuă direcția metacarpienelor. Ultimele 4 degete (indexul, mijlociul, inelarul și degetul mic) au fiecare cîte trei falange : *proximală (prima falangă sau falanga), mijlocie (a doua falangă sau falangina)* și *distală (a treia falangă sau falangeta)*. Degetul mare nu prezintă decît două falange (fig. 146,12,13 și 14).

Fiecare falangă prezintă o extremitate proximală (*bază*), un *corp* și o extremitate distală (*cap*).

În aprecierea dezvoltării normale a copilului și în diagnosticul afecțiunilor neuro-endocrine, examenul radiografic al scheletului gîtului mîinii și al mîinii capătă o importanță deosebită. În acest sens, *Rotsch*, a atras atenția încă din anul 1909, susținînd că „mîna și gîtul mîinii pot fi considerate ca aducînd indicații suficient de precise asupra dezvoltării generale".

ARTICULAȚIILE GÎTULUI MÎINII ȘI ALE MÎINII

Segmentele osoase se articulează între ele printr-un număr de 30 articulații : *articulațiile intercarpiene* (între oasele carpiene, prin fețele lor laterale), *articulația radio-carpiană, articulația medio-carpiană* (a celor două rînduri carpiene între ele), *articulațiile intermetacarpiene, articulațiile carpo-metacarpiene, articulațiile metacarpo-falangiene* și *articulațiile interfalangiene*.

Articulațiile intercarpiene. Oasele carpiene au o formă neregulat cuboidă. Prin fețele lor laterale și plane, oasele carpiene ale primului rînd, ca și cele din al doilea rînd, se articulează între ele.

La nivelul primului rînd, scafoidul se articulează cu semilunarul (*articulația scafo-lunară*), iar semilunarul se articulează cu piramidalul *(articulația piramido-lunară)*. Se realizează astfel două artrodii dispuse sagital. Piramidalul se articulează, de asemenea, cu pisiformul, care este situat înaintea lui (*articulația pisi-piramidală*), printr-o artrodie dispusă frontal.

La nivelul celui de al doilea rînd al carpului, trapezul se articulează cu trapezoidul, trapezoidul cu osul mare și osul mare cu osul cu cîrlig, realizîndu-se trei artrodii dispuse sagital.

Articulația radio-carpiană este o diartroză condiliană.

a) Suprafața articulară a antebrațului este reprezentată de cavitatea glenoidă antebrahială, de formă elipsoidală, cu marea

axă transversală, de la stiloida radială la stiloida cubitală. Cavitatea glenoidă antebrahială este formată de fața articulară a extremității inferioare a radiusului și de fața inferioară a ligamentului triunghiular.

Suprafața articulară a oaselor carpiene este reprezentată de condilul format prin unirea primelor trei oase externe ale primului rînd al carpului. Acest condil carpian, lungit de asemenea transversal, se mulează exact pe glena antebrahială.

b) Cele două suprafețe articulare sînt menținute în contact de o capsulă fibroasă, întărită de patru ligamente foarte puternice, dispuse *anterior, posterior, lateral intern* și *lateral extern*.

c) Sinoviala tapisează întreaga față interioară a manșonului capsular și comunică deseori cu sinoviala articulației radio-cubitale inferioare și mai rar cu sinoviala articulațiilor dintre oasele carpiene.

Articulația medio-carpiană unește primul rînd al oaselor carpiene cu rîndul al doilea. Interlinia articulară este neregulată. La partea externă, unde fața inferioară a scafoidului vine în contact cu fețele superioare ale trapezului și trapezoidului, interlinia este plană, adică este vorba de o artrodie. La partea internă, unde fețele inferioare ale semilunarului și piramidalului vin în contact cu fețele superioare ale osului mare și osului cu cîrlig, care au forma unui condil, interlinia este curbă, deci se realizează o articulație condiliană.

Articulațiile carpo-metacarpiene. Ultimele 4 oase metacarpiene se articulează prin suprafețele articulare ale bazelor lor cu fețele inferioare ale trapezoidului, osului mare și osului cu cîrlig, realizînd un număr de patru artrodii.

Baza primului metacarpian se articulează cu fața inferioară articulară a trapezului într-un chip deosebit, și anume, printr-o articulație prin îmbucare reciprocă (*articulație selară*). Această articulație a apărut din necesitatea de a permite degetului mare executarea mișcării de opoziție.

Articulațiile intermetacarpiene. Ultimele patru metacarpiene se articulează prin bazele lor nu numai cu oasele carpiene, ci și lateral între ele, prin trei artrodii.

La nivelul diafizelor, metacarpienele sînt separate între ele, dar prin capetele lor, ultimele patru metacarpiene, deși nu prezintă fețe articulare, sînt unite printr-o bandeletă fibroasă

transversală, care se întinde de la cel de al doilea metacarpian la al cincilea. Bandeleta fibroasă trece pe dinaintea articulațiilor metacarpo-falangiene.

Articulațiile metacarpo-falangiene sînt articulații condiliene, realizate între condilii capetelor metacarpiene și cavitățile glenoide ale bazelor primelor falange.

Articulațiile interfalangiene sînt trohleartroze realizate pe capul falangelor proximale, care au forma unui mosor, și de baza falangelor distale, care prezintă o creastă mediană și două mici cavități glenoide laterale.

Toate articulațiile mîinii sînt întărite de către un manșon capsular și de ligamente dispuse lateral, de o parte și de alta a capsulei.

MUȘCHII MÎINII ȘI TENDOANELE LOR

Așa cum le descrie *Braus*, foarte plastic, degetele sînt segmente de membru formate din „piele și os", cu articulații și „curele de transmisie" (tendoane) acționate de la distanță, pe de o parte, de mușchii antebrațului și, pe de altă parte, de mușchii intrinseci ai mîinii.

Mușchii antebrațului. *Reprezintă grupul mușchilor de forță* ai mîinii și acționează atît asupra degetelor, cît și asupra articulației gîtului mîinii. Importanța lor constă în aceea că își aduc contribuția nu numai la mișcările degetelor, ci și la mișcarea și fixarea articulației gîtului mîinii în pozițiile cele mai convenabile executării mișcărilor degetelor.

Deși mușchii antebrațului au fost prezentați la antebraț, trebuie să revenim asupra unor componente ale lor, localizate la nivelul mîinii, deoarece au o deosebită importanță în înțelegerea mișcărilor acesteia.

Tendoanele mușchilor lungi flexori acționează cu eficacitate asupra degetelor, deoarece dispun ca hipomochlioane (scripeți de reflexie), de două canale osteo-fibroase, care, așa cum se exprimă *M. Iselin,* joacă rolul scripeților de la sforile care trag perdelele.

Canalele osteo-fibroase se găsesc situate pe fața anterioară a primei și a celei de a doua falange. Canalele proximale (fig. 147, I) corespund feței anterioare a primei falange, iar canalele distale, mai scurte și mai strîmte, corespund celor 2/3 proximale ale feței anterioare a celei de a doua falange

(fig. 147, II). Fețele posterioare ale canalelor sînt reprezentate de planul osos al fețelor anterioare ale falangelor, iar fețele anterioare ale canalelor sînt reprezentate de niște bandelete aponevrotice fibroase. Bandeletele aponevrotice provin din expansiunile laterale trimise de aponevroza palmară spre dosul mîinii și sudate la aponevroza superficială și cea profundă a mîinii.

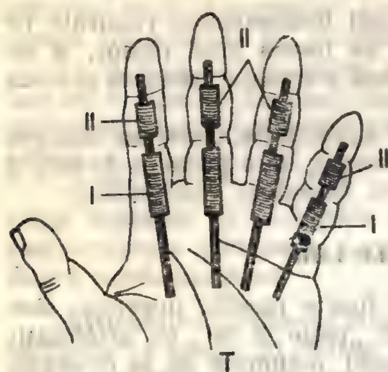


Fig. 147 — Localizarea scripeților proximali (I) și a scripeților distali (II) la nivelul degetelor mîinii. Tendoanele flexorilor lungi, cu tecile lor sinoviale (T), trec pe sub acești scripeți.

Structura tendoanelor flexorilor degetelor și relațiile acestora cu aparatul lor de alunecare au de asemenea o deosebită importanță.

Tendonul este alcătuit din fascicule de fibre colagene, fiecare fascicul cuprinzînd fibre tendinoase dispuse longitudinal, compuse din fibrele colagene și celule tendinoase. Fibroblastele se dispun la suprafața fasciculelor.

Fasciculele tendinoase sînt separate între ele, prin despărțituri conjunctive denumite *endotendon* (vezi figura 49, 3). Tendonul este înconjurat de un strat conjunctiv foarte dens denumit *epitendon,* care intră în contact cu elementele aparatului de alunecare (vezi figura 49, 2).

Aparatul de alunecare este astfel constituit, încît să permită transmisia integrală a forței de contracție musculară. Frecarea și rezistența opusă de către aparat sînt practic nule, astfel că tracțiunea exercitată de mușchi se transmite 100% de la extremitatea proximală a tendonului, pînă la punctul său de inserție.

Elementele componente principale ale aparatului de alunecare sînt : *paratendonul, teaca sinovială* și *mezotendonul.*

a) *Paratendonul* (fig. 49, 1) este alcătuit dintr-un țesut conjunctivo-celular areolar și se găsește numai în teritoriile în care tendonul nu este acoperit de o teacă sinovială. Paratendonul nu aduce nici o contribuție la vascularizația tendonului *(Smith* și *Conway* 1966).

b) *Teaca sinovială* acoperă tendonul în porțiunile în care acesta nu este acoperit de paratendon. Împreună cu paratendonul, cu care se completează, ea formează o unitate anatomică și funcțională, care învelește tendonul, permițîndu-i alunecarea. Rolul paratendonului și tecii sinoviale constă în aceea că permite tendonului o mișcare independentă față de structurile fixe înconjurătoare (aponevroze, canal carpian, canalul osteofibros digital), precum și față de tendoanele învecinate.

Deplasarea tendonului în teaca alcătuită de paratendon și sinovială se realizează după principiul unei deplasări pantografice (*J. W. Smith* și *H. Conway* — 1966), deci a unui paralelogram deformabil (vezi figura 50). Dacă punctul A al tendonului se deplasează la A′, punctul corespunzător B al paratendonului sau al tecii sinoviale se deplasează și el de la B la B′. Această mișcare diferențiată a straturilor paratendonului permite suprafeței lui interioare o deplasare împreună cu tendonul, în timp ce suprafața lui exterioară rămîne relativ fixă.

c) *Mezotendonul,* al treilea element care alcătuiește aparatul de alunecare (vezi figura 49, 4), există pe toată întinderea tendonului și se aseamănă mezenterului intestinelor atît ca structură, cît și ca funcție. El deservește irigarea cu sînge a tendonului, dispunînd de o rețea vasculară segmentară care se ramifică în arcade. La nivelul degetelor, mezotendonul se condensează sub forma *viniculelor.* La nivelul inserțiilor osoase viniculele sînt scurte, iar la nivelul capsulelor articulare viniculele sînt lungi.

Prezența rețelei vasculare în mezotendon presupune însă că mobilitatea tendonului rămîne dependentă și de posibilitatea de întindere și de repliere, deci de elasticitatea rețelei vasculare a mezotendonului (*Colville* și colab., 1969).

Mușchii intrinseci ai mîinii. Mîna dispune în afara mușchilor antebrațului, de 19 mușchi proprii, care acționează exclusiv asupra degetelor, și reprezintă *grupul mușchilor de finețe și de precizie ai mîinii.* Ei sînt repartizați în trei grupe, după regiunile unde se găsesc : mușchii tenarieni, mușchii hipotenarieni și mușchii lojei mijlocii.

Mușchii tenarieni se numesc astfel deoarece se găsesc în regiunea sau eminența tenariană, aflată la partea supero-externă a palmei. Au o formă triunghiulară, cu baza proximală și

vîrful spre police. Sînt 4 mușchi tenarieni : *scurtul abductor al policelui, opozantul, scurtul flexor al policelui* și *adductorul policelui.*

a) *Scurtul abductor al policelui* se inseră proximal pe scafoid și pe ligamentul inelar al carpului, și distal pe baza primei falange a policelui. Este un abductor și un rotator în afară al policelui.

b) *Scurtul flexor al policelui* se inseră proximal pe trapez, trapezoid, pe ligamentul inelar al carpului și distal pe baza primei falange a policelui. Este un rotator înăuntru al primului metacarpian, pe care îl duce concomitent înainte și înăuntru.

c) *Opozantul* se inseră proximal pe ligamentul inelar carpian anterior și pe trapez, se îndreaptă apoi în jos și în afară și se inseră distal pe întreaga față externă a primului metacarpian. Este un rotator înăuntru al primului metacarpian, pe care îl duce concomitent, ca și scurtul flexor al policelui, înainte și înăuntru, realizînd astfel împreună mișcarea de opoziție.

Opozantul intervine în toate formele de prehensiune realizate de degetul mare față de restul mîinii. S-a arătat însă că el acționează nu numai în mișcarea de opoziție, ci și în mișcarea de abducție a policelui, în care joacă un rol de stabilizator. (*Weathersby*; *Forrest* și *Basmajian*; *Hamonet* și *Valentin*).

d) *Adductorul policelui* se inseră proximal pe fața anterioară a celui de al doilea rînd carpian și pe bazele metacarpienelor doi și trei, după care se îndreaptă în jos și în afară și se inseră distal pe baza primei falange a policelui.

Este un adductor al policelui, pe care îl trage spre linia mediană și în același timp îl duce înapoi. Studiile electromiografice ale lui *Hamonet* și *Valentin* (1970) au arătat că adductorul intervine cu intensități diferite în variatele forme ale prehensiunii. În prehensiunea cu toată mîna (apucarea barei, a paralelelor, a frînghiei, a suliței etc.) adductorul este foarte activ. În opoziția pulpară (pulpa policelui atinge pulpa celorlalte degete) activitatea adductorului este mai slabă, dar crește pe măsură ce se trece de la index spre degetul mic. În opoziția pulpo-laterală (pulpa policelui atinge fața laterală a indexului) adductorul este foarte activ. În clinică incapacitatea de a efectua opoziția pulpo-laterală pune în evidență o paralizie de adductor, deci de nerv cubital și capătă denumirea de *semnul lui Fromen.*

Muşchii hipotenarieni, numiţi astfel deoarece se găsesc în regiunea sau eminenţa hipotenariană, aflată la partea internă a palmei, sînt tot 4 la număr : *palmarul cutanat, adductorul degetului mic, scurtul flexor al degetului mic* şi *opozantul degetului mic.*

a) *Palmarul cutanat* este patrulater şi se inseră înăuntru pe pielea eminenţei hipotenariene şi în afară pe aponevroza palmară. Este un tractor al pielii din regiunea respectivă.

b) *Adductorul degetului mic* se inseră proximal pe pisiform, iar distal pe faţa posterioară a primei falange a degetului mic, printr-un tendon comun cu flexorul. Este un adductor al degetului mic.

c) *Scurtul flexor al degetului mic* se inseră proximal pe osul cu cîrlig şi ligamentul inelar carpian anterior, şi distal pe prima falangă a degetului mic, printr-un tendon comun cu adductorul. Este un flexor al primei falange pe metacarpian.

d) *Opozantul degetului mic* se inseră proximal pe osul cu cîrlig şi ligamentul inelar carpian anterior, şi distal pe faţa internă a metacarpianului 5. Este un abductor şi un proiector înainte al metacarpianului 5 şi deci al degetului mic.

Muşchii lojei mijlocii, cuprinsă între eminenţa tenară şi eminenţa hipotenară, sînt dispuşi într-un strat superficial şi unul profund. Muşchii stratului superficial sînt *lombricalii,* iar ai stratului profund sînt *interosoşii.*

a) *Muşchii lombricali,* în număr de 4, se inseră pe tendoanele flexorului profund, se îndreaptă în jos, înapoi şi în afară, trec pe lîngă faţa externă a articulaţiilor metacarpo-falangiene şi se inseră pe tendonul extensorului comun al degetelor (fig. 148).

Sînt flexori ai primei falange şi extensori ai ultimelor două falange ale degetelor 2—5.

b) *Muşchii interosoşi* sînt situaţi în spaţiile metacarpiene. În fiecare spaţiu se găsesc

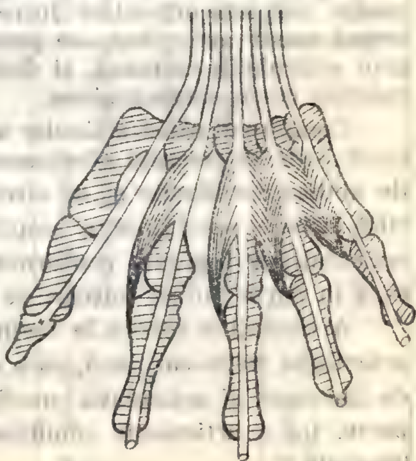


Fig. 148 — Inserţiile lombricalilor pe tendoanele flexorului profund.

cîte 2 muşchi interosoşi, unul palmar şi unul dorsal (cu excepţia primului spaţiu, care nu prezintă decît unul interosos dorsal). În total sînt 7 la număr, se inseră proximal pe feţele laterale ale metacarpienelor şi distal pe tendoanele extensorului comun al degetelor. Sînt flexori ai primei falange şi extensori ai ultimelor două falange, ca şi lombricalii, dar în acelaşi timp sînt şi abductori şi adductori ai degetelor 2—5.

Este de reţinut faptul că din cei 19 muşchi intrinseci ai mîinii, 14 sînt inervaţi de nervul cubital. Numai scurtul abductor al policelui, opozantul policelui şi primii doi interosoşi palmari sînt inervaţi de nervul median. O excepţie face scurtul flexor al policelui, care este inervat concomitent atît de nervul cubital, cît şi de nervul median.

BIOMECANICA GÎTULUI MÎINII ŞI A MÎINII

Studiul biomecanic al gîtului mîinii şi al mîinii trebuie efectuat în două etape. Într-o primă etapă ne vom referi la mişcările şi acţiunile biomecanice ale diferitelor componente ale mîinii, considerate izolat. În a doua etapă ne vom referi la mişcările şi acţiunile biomecanice ale mîinii, considerate ca un tot.

Biomecanica gîtului mîinii. Gîtul mîinii este alcătuit, după cum am văzut, din 8 oase scurte, de formă neregulat cuboidă — oasele carpiene articulate între ele printr-o serie de artrodii, întregul masiv articulîndu-se proximal cu segmentul antebrahial prin articulaţia carpiană, şi distal cu metacarpienele prin articulaţiile carpo-metacarpiene.

Complexul osteo-articular al gîtului mîinii este astfel structurat încît să permită efectuarea mişcărilor de flexie-extensie, de abducţie-adducţie şi de circumducţie. Amplitudinea mişcărilor este o rezultantă a amplitudinilor însumate ale tuturor articulaţiilor regiunii, conformate ca artrodii şi permiţînd fiecare în parte numai mişcări de mică amplitudine.

Articulaţiile cărora le revine rolul cel mai important sînt: articulaţia radio-carpiană, care este o condiliană cu două grade de libertate, şi articulaţia medio-carpiană, care este şi ea, în parte, tot o articulaţie condiliană, deci tot cu două grade de libertate.

Toate mişcările gîtului mîinii se realizează printr-o deplasare „în etaje" a segmentelor regiunii. Al doilea rînd carpian

Tabel recapitulativ al mușchilor mîinii

Grupa	Denumirea	Inserția		Acțiunea
		Proximală	Distală	
Mușchii antebrațului	Vezi mușchii antebrațului			
Mușchii tenarieni	Scurt abductor al policelui	Scafoid	Baza primei falange a policelui	Abductor și rotator în afară al policelui
	Scurt flexor al policelui	Trapez Trapezoid	Baza primei falange a policelui	Rotator înăuntru al policelui
	Opozant	Trapez	Metacarp I	Opozant police
	Adductor al policelui	Al doilea rînd carpian	Baza primei falange a policelui	Adductor al policelui
Mușchii hipotenarieni	Palmar cutanat	Piele	Aponevroză palmară	Tractor al pielii
	Adductor al degetului mic	Pisiform	Falanga I a degetului mic	Adductor al degetului mic
	Scurt flexor al degetului mic	Os cu cîrlig	Falanga I a degetului mic	Flexor al primei falange a degetului mic
	Opozant al degetului mic	Os cu cîrlig	Metacarpianul 5	Abductor al degetului mic
Mușchii lojei mijlocii	Lombricali	Tendonul flexorului profund	Tendonul extensorului degetelor	Flexori ai falangei I și extensori ai falangelor II și III ale degetelor II–V
	Interosoși	Metacarpieni	Tendonul extensorului degetelor	Aceeași, plus abducția și adducția degetelor II–V

se deplasează pe primul, iar primul rînd carpian se deplasează pe segmentul antebrahial. Datorită faptului că primul rînd este situat între cele două suprafețe articulare, reprezentate distal de al doilea rînd carpian și proximal de segmentul antebrahial, el a fost asemănat ca rol biomecanic cu un menisc, fiind chiar denumit *„meniscul carpian"* *(Tavernier)*. Nu trebuie însă uitat că acest, așa-zis, menisc este format din trei piese osoase (scafoidul, semilunarul și piramidalul), solidarizate între ele prin două artrodii.

Mișcările gîtului mîinii se efectuează în jurul unui centru care poate fi considerat osul mare. Acesta reprezintă pivotul în jurul căruia se deplasează celelalte oase carpiene, asemănător unor sateliți *(Destot)*.

Goniometria. Amplitudinile medii normale de mișcare sînt :

	Extensie	Flexie	Înclinare cubitală	Înclinare radială
Activ	75°(0–75°)	90°(0–90°)	40°(0–40°)	15°(0–15°)
Pasiv	85°(0–85°)	90°(0–90°)	45°(0–45°)	20°(0–20°)
Diferența	10°	0°	5°	5°

Flexia și extensia se execută în plan sagital, în jurul unei axe transversale, care trece prin capul osului mare. Clinic, axa biomecanică transversală este situată în tabachera anatomică.

Goniometrul clasic se așază în plan sagital, pe fața radială a antebrațului, a gîtului mîinii și a mîinii, cu baza proximal și perpendicular pe axa lungă a segmentului, cu axul indicatorului în dreptul tabacherei anatomice, cu indicatorul în dreptul axei lungi a mîinii extinse, în continuarea antebrațului. Preferăm însă hidrogoniometrul *Geigy*.

Însumate, mișcările de flexie și extensie active au o amplitudine medie de 165°, iar cele pasive de 175°. Diferența dintre mobilitatea activă și cea pasivă = 10°.

Abducția și adducția se execută în plan frontal, în jurul unei axe antero-posterioare care trece prin centrul osului mare. Clinic, axa biomecanică antero-posterioară se reperează, pe fața dorsală a gîtului mîinii, în depresiunea de deasupra bazei celui de al treilea metacarpian.

Goniometrul se așază în plan frontal, pe fața dorsală a mîinii, cu baza proximal și perpendicular pe axa lungă a ante-



Fig. 149 — Goniometria gîtului mîinii. Înclinarea cubitală şi radială :
a — poziţia de start, b — poziţia finală a înclinării cubitale, c — poziţia finală a înclinării radiale.

brațului, cu axul indicatorului în dreptul depresiunii bazei celui de al treilea metacarpian, cu indicatorul în dreptul axei lungi a mîinii extinse (deci al metacarpianului al treilea și al mediusului) (fig. 149).

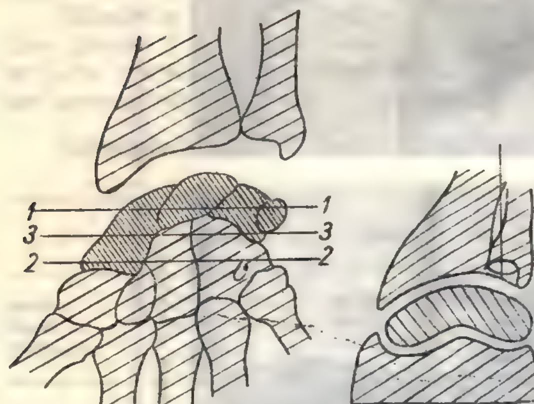


Fig. 150 — Secțiune frontală prin gîtul mîinii. Axele mecanice :

1—1 — axa transversală a primului rînd carpian, 2—2 — axa transversală a rîndului al doilea carpian, 3—3 — axa transversală combinată.

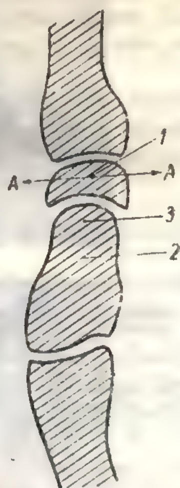


Fig. 151 — Secțiune sagitală prin gîtul mîinii. Axele mecanice :

AA — axa antero-posterioară pentru mișcările de înclinare, 1 — axa transversală a primului rînd carpian, 2 — axa transversală a celui de al doilea rînd carpian, 3 — axa transversală combinată.

În total, mișcările însumate de abducție (înclinare radială) și adducție (înclinare cubitală) active au o amplitudine de 55°, iar cele pasive de 65°, diferența dintre ele fiind de 10°.

a) *Mișcările de flexie și extensie* se produc în jurul unei axe transversale care trece prin capul osului mare și are o amplitudine totală (de la poziția de flexie maximă la poziția de extensie maximă) de aproape 180° (fig. 150 și fig. 151).

Amplitudinea mișcării reprezintă sumația amplitudinilor de mișcare a articulațiilor radio-carpiene și medio-carpiene, dar participarea acestora este diferită.

Articulația	Flexia	Extensia
Radio-carpiană	50°	35°
Medio-carpiană	35°	50°

După cum rezultă din acest tabel, articulația radio-carpiană participă mai mult la mișcarea de flexie, pe cînd cea medio-carpiană mai mult la mișcarea de extensie. Altfel exprimat, articulația radio-carpiană se flectează mult și se extinde puțin, în timp ce aceea medio-carpiană se flectează puțin, dar se extinde mult (fig. 152).

Amplitudinea mișcării depinde de poziția mîinii față de antebraț și de poziția degetelor. Astfel, flexia este maximă cînd mîna este înclinată cubital și degetele extinse, iar extensia este maximă cînd mîna este înclinată radial și degetele sînt flectate.

Mișcarea de flexie este realizată de următorii mușchi : marele palmar, micul palmar și cubitalul anterior, ajutați de flexorul comun superficial al degetelor, de flexorul comun profund al degetelor și de lungul flexor propriu al policelui. Este limitată de punerea sub tensiune a ligamentelor posterioare.

Mișcarea de extensie se realizează prin participarea următorilor mușchi : primul radial extern, al doilea radial extern, cubitalul posterior, extensorul comun al degetelor, extensorul propriu al degetului mic, lungul extensor al policelui, scurtul extensor al policelui și extensorul propriu al indexului. Este limitată de punerea sub tensiune a ligamentelor anterioare.

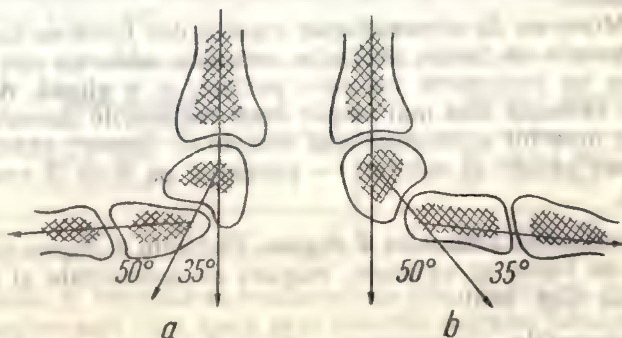


Fig. 152 — **Amplitudinea mișcărilor gîtului mîinii în extensie (a) și flexie (b).**

b) *Mişcările de înclinare radială şi înclinare cubitală* se produc în jurul unei axe antero-posterioare care trece prin centrul osului mare (vezi figura 151, AA). Oasele carpiene basculează în jurul acestui centru. În înclinaţia radială, cînd osul mare se înclină în afară, semilunarul se înclină înăuntru. În înclinaţia cubitală, cînd osul mare se înclină înăuntru, semilunarul se înclină în afară, iar scafoidul ajunge să fie degajat şi are cîmp liber de acţiune pentru a participa la realizarea mişcării de opoziţie.

Amplitudinea mişcării rezultă tot din sumaţia amplitudinii de mişcare a articulaţiilor radio-carpiene şi medio-carpiene. Dar şi aici, ca şi la mişcările de flexie şi extensie, participarea acestora este deosebită.

Articulaţia	Înclinaţia radială	Înclinaţia cubitală
Radio-carpiană	5°	15°
Medio-carpiană	10°	25°

Muşchii motori care realizează înclinaţia cubitală sînt : cubitalul posterior şi cubitalul anterior. Mişcarea este limitată de ligamentele laterale externe.

Muşchii motori care realizează înclinaţia radială sînt : marele palmar, primul radial extern, al doilea radial extern, lungul abductor al policelui, lungul extensor al policelui şi scurtul extensor al policelui. Mişcarea este limitată de ligamentele laterale interne.

c) *Mişcarea de circumducţie* rezultă din trecerea succesivă prin mişcările de flexie, abducţie, extensie, adducţie sau invers. Mişcarea nu reprezintă un cerc perfect, ci o elipsă, deoarece flexia şi extensia sînt mai ample decît înclinările laterale.

Toţi muşchii enumeraţi mai înainte — flexori, extensori şi înclinatori radiali şi cubitali — participă pe rînd la realizarea mişcării.

Biomecanica ultimelor 4 degete. Ultimele 4 degete prezintă mişcări de flexie şi extensie, mişcări de lateralitate şi de circumducţie (fig. 153).

Goniometria. Goniometria mîinii determină amplitudinile de mişcare a articulaţiilor intermetacarpo-falangiene şi in-

terfalangiene. Se efectuează cu goniometrul de tip mic sau cu hidrogoniometrul *Geigy*, fixîndu-se pe planul mesei sau între două degete segmentul supraiacent segmentului care execută, pasiv sau activ, mişcarea.

Articulaţiile intermetacarpo-falangiene ale ultimelor 4 degete sînt articulaţii de tip condilian cu două grade de libertate,

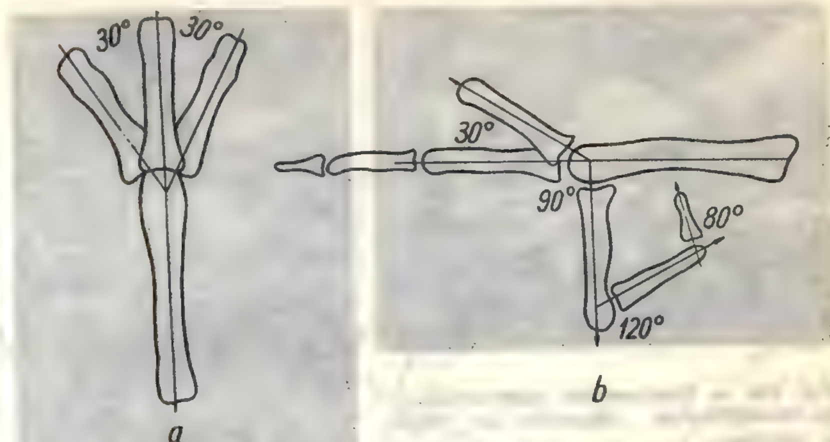


Fig. 153 — **Amplitudinea mişcărilor ultimelor patru degete :** a — mişcările de abducţie şi adducţie, b — mişcările de flexie şi extensie.

care permit efectuarea mişcărilor de flexie-extensie, de lateralitate şi, ca o rezultantă a acestora, de circumducţie.

Amplitudinile medii normale ale acestor mişcări sînt următoarele (fig. 154) :

	Flexie-extensie	Înclinare laterală
Activ	90°(0–90°)	30°–30°= 60°
Pasiv	110°(0–110°)	50°–50°=100°
Diferenţa	20°	20°–20°= 40°

Flexia şi extensia se realizează în plan sagital în jurul unei axe transversale care trece prin condilii metacarpienelor, puţin înaintea inserţiei superioare a ligamentelor laterale (vezi figura 153, b).

Înclinarea laterală a degetelor se realizează în plan frontal în jurul unor axe antero-posterioare care trec prin centrul condililor metacarpienelor (vezi figura 153 a).

Articulaţiile interfalangiene sînt trohleartroze cu un singur grad de libertate, care permit efectuarea mişcărilor de flexie-extensie. Mişcările se realizează în plan sagital, în jurul unor axe transversale care trec prin trohleele capetelor falangiene.

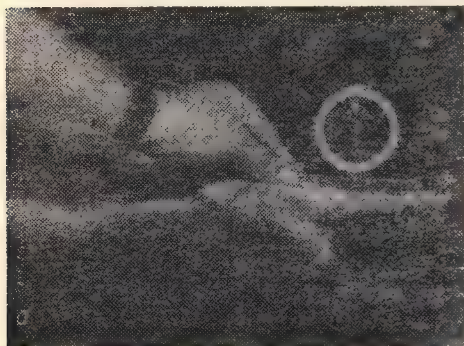




Fig. 154 — Goniometria intermetacarpo-falangienelor. Mişcările de flexie şi extensie :
a — poziţia de plecare, b — poziţia finală.

Amplitudinea medie normală a flexiei-extensiei este de 120°, pentru articulaţiile interfalangiene proximale şi de 90° pentru articulaţiile interfalangiene distale.

În afara metodei goniometrice clasice, care rămîne o metodă de măsurare unghiulară, s-au mai propus, pentru determinarea amplitudinii de mişcare a degetelor, o serie de metode denumite *lineare*, care se bazează pe măsurarea distanţei dintre vîrful degetului şi o linie convenţională denumită de *E. B. Kaplan* (1953) *linia cardinală.*

Linia cardinală (fig. 155) se întinde de la vîrful primului spaţiu interdigital (L) pînă la marginea cubitală a mîinii, tăind extremitatea distală a osului pisiform (C). Este deci situată paralel şi proximal de plica palmară mediană şi se suprapune liniei bazelor metacarpienelor.

Măsurarea distanţei dintre vîrful degetului flectat la maximum şi linia cardinală (L L_1) ne poate da un indiciu asupra

amplitudinii de mişcare a articulaţiilor metacarpo-falangiene şi interfalangiene, a degetului respectiv. Aceasta era metoda lineară simplă, sugerată de *Bunell*, apoi de *Boyes* (1950) şi pusă la punct de *Kaplan*.

Litchman şi *Paslay* (1974) au perfecţionat această metodă, apelînd la funcţiile matematice şi introducînd şi valoarea LL_1



Fig. 155 — Linia cardinală a lui E. B. Kaplan :

LC — linia cardinală, LL_1 — distanţa dintre pulpa degetului şi linia cardinală.

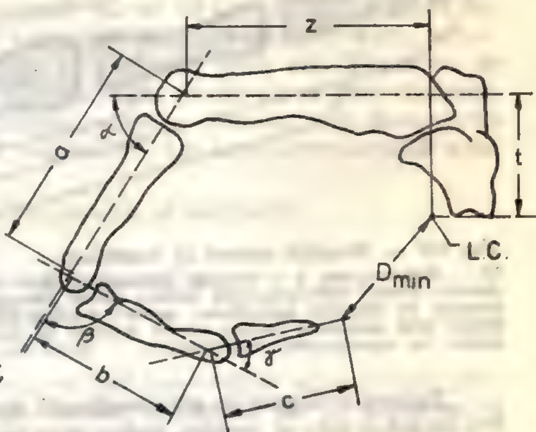


Fig. 156 — Schema de determinare lineară a mişcărilor degetelor (după H M. Lichtmann şi P. R. Paslay).

cu degetul în extensie maximă (fig. 156). Pentru a determina corect amplitudinea de flexie-extensie a degetelor, prin măsurarea lineară numai a distanţei LL_1 în flexie maximă şi în extensie maximă, ei au stabilit un tabel unic, în care se ţine cont şi de dimensiunile mîinii.

a) *Mişcările de înclinare laterală a degetelor* se realizează prin alunecarea transversală a bazei primelor falange pe condilii capetelor metacarpiene. Apropierea şi depărtarea de axa mîinii este realizată de interosoşi (vezi figura 153 a).

b) *Mişcările de flexie şi extensie ale degetelor* se realizează fie izolat, fie simultan, la cele trei niveluri articulare ale degetelor, metacarpo-falangian, interfalangian proximal şi interfa-

langian distal. La toate aceste trei niveluri axele de mişcare sînt transversale şi trec prin condili, puţin înaintea inserţiei superioare a ligamentelor laterale (fig. 157).

Flexia primei falange pe metacarpian este realizată de interosoşi şi lombricali ; flexia celei de a doua falange pe prima este realizată de flexorul comun superficial ; flexia celei de a treia falange pe a doua este realizată de flexorul comun profund.

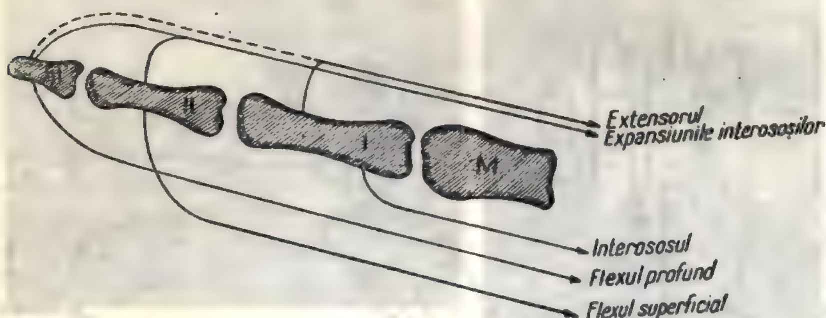


Fig. 157 — Muşchii motori ai degetelor :
M — metacarpian, I — falanga proximală, II — falanga mijlocie, III — falanga distală. Flexia este asigurată pentru prima falangă de interosos, pentru a doua falangă de flexorul superficial, pentru a treia falangă de flexorul profund. Extensia este asigurată pentru prima falangă de extensor şi pentru celelalte două degete de expansiunea interosoşilor.

Extensia degetelor este realizată de extensorul comun. Pentru degetul mic şi pentru index mai intervin extensorii proprii ai acestor degete.

Interosoşii şi lombricalii realizează o mişcare combinată, care constă în flexia primei falange şi extensia ultimelor două.

Mişcarea de flexie a degetelor 2—5 nu s-ar putea realiza fără conformaţia specială a canalelor osteo-fibroase de la nivelul degetelor (vezi figura 147), precum şi a aparatelor de alunecare a tendoanelor (vezi figura 49). Prin intermediul acestor formaţiuni, cei doi flexori lungi ai degetelor 2—5, flexorul superficial comun şi flexorul profund comun, acţionează sinergic. Astfel se explică de ce mişcarea se realizează simultan atît din falanga distală, cît şi din cea mijlocie. Dacă falanga distală se menţine extinsă, falanga mijlocie se poate flecta izolat, dar falanga distală nu se poate flecta izolat decît dacă falanga mijlocie este complet flectată şi flexorul superficial are o excursie mai mare, sau dacă falanga mijlocie este fixată pasiv de degetele examinatorului.

Mişcarea de extensie a degetelor 2—5 se bazează pe mecanisme şi mai complexe decît mişcarea de flexie. Extensorul comun al degetelor realizează o serie de acţiuni succesive : întîi extinde articulaţiile metacarpo-falangiene, apoi articulaţiile interfalangiene proximale şi numai în final, articulaţiile interfalangiene distale.

În realizarea mişcării de extensie un rol deosebit revine şi muşchilor intrinseci ai mîinii, articulaţiile interfalangiene neextinzîndu-se complet, decît dacă aceştia blochează hiperextensia articulaţiilor metacarpo-falangiene.

Dar mişcarea de extensie, chiar în prezenţa grupelor musculare extrinsece şi intrinsece, nu ar fi posibilă dacă mîna nu ar dispune de o serie de elemente tendino-aponevrotice, structurate deosebit de complex şi intricate între ele. Mişcarea de extensie ajunge astfel să fie realizată, nu de un anume element, ci de un complex de elemente, care se reunesc sub denumirea de *„aparatul extensor al degetelor"*. La alcătuirea acestui aparat participă :

— inserţia extensorului comun al degetelor ;
— benzile sagitale ;
— tendoanele interosoşilor dorsali ;
— tendoanele lombricalilor ;
— ligamentele retinaculare.

Din intricarea acestora rezultă aşa-numita *aponevroză dorsală a degetelor*, pe drept cuvînt denumită de *R. Montant* şi *A. Baumann* (1937), „un plex de tendoane".

Inserţia extensorului comun al degetelor este clasic considerată ca realizîndu-se la nivelul feţei dorsale a bazei falangei proximale. Descrierea modului de ataşare a tendonului pe pîrghia osoasă este diferit prezentată de autori (fig. 158). *Baumann* şi *Patry* (1943) o recunosc ca pe o formaţiune anatomică bine distinctă. *Kaplan* (1953), bazîndu-se pe disecţia a 140 de degete, constată că ea se realizează printr-o conexiune difuză pe capsula metacarpo-falangiană şi că numai în 38,5% din cazuri apare sub forma unei benzi fibroase bine individualizate. *Landsmeer* (1949) afirmă că se realizează printr-o îngroşare a fasciei infratendinoase a tendonului extensor. *Tubiana* şi *Valentin* (1964), disecînd 100 de degete, pun în evidenţă un strat lung, subţire dar puternic, care porneşte de la tendonul extensorului şi aderă apoi la capsula metacarpo-falangiană şi la periostul bazei falangei proximale.

La nivelul capului metacarpienelor, tendonul extensorului comun, prin partea lui profundă, se transformă într-o expansiune tendinoasă, care trece peste porţiunea distală a articulaţiei metacarpo-falangiene, aderă distal la capsulă şi se inseră pe baza proximală a falangei proximale, unde se împarte în trei porţiuni, *una centrală* şi *două laterale* (fig. 158, B C şi B L).

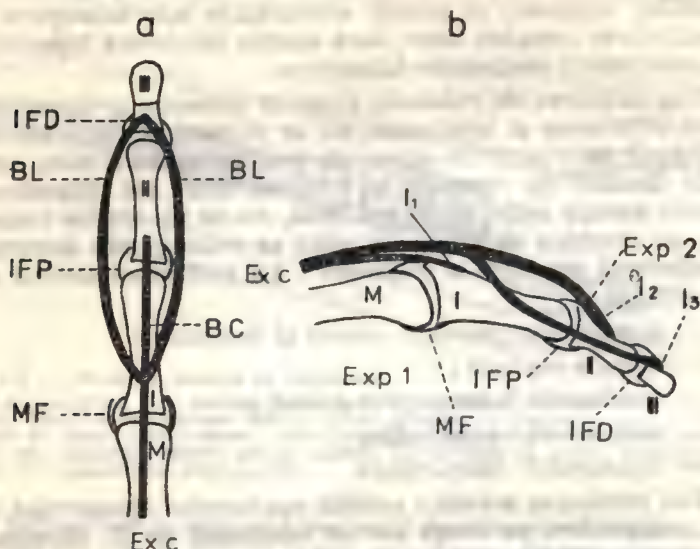


Fig. 158 — **Inserţia tendonului extensor comun :**

a — vedere de pe faţa dorsală, b — vedere din profil, M — metacarpian, I — falanga proximală, II — falanga mijlocie, III — falanga distală, MF — articulaţia metacarpo-falangiană. IFP — articulaţia interfalangiană proximală, IFD — articulaţia interfalangiană distală, Ex. c. — tendon extensor comun, BC — banda centrală a tendonului, BL — benzile laterale ale tendonului. Exp. 1 — expansiunea tendinoasă profundă care aderă la capsula metacarpo-falangiană şi baza falangei proximale. Exp. 2 — strat de fibro-cartilagiu („rotula") prin care banda centrală aderă la capsula articulaţiei interfalangiene proximale, I_1 — inserţia Exp. 1, I_2 — inserţia benzii centrale, I_3 — inserţia celor două benzi laterale.

La porţiunea centrală a tendonului aderă benzile laterale ale muşchilor interosoşi, formîndu-se un tendon medial-extern. Acesta trece peste faţa dorsală a articulaţiei interfalangiene proximale, de care se ataşează strîns, prin intermediul unui strat de fibro-cartilagiu (de unde şi asemănarea acestuia cu a unei „rotule") şi se inseră puternic pe partea proximală a fa-

langei mijlocii. În cazul unei leziuni a extensorului la nivelul inserţiei lui centrale, pe falanga mijlocie se produce diformitatea denumită *„deget în butonieră"* (mallet deformity). Degetul rămîne flectat din interfalanga distală, deşi interfalangiana proximală şi metacarpo-falangiana se extind normal.

Toate cele trei porţiuni principale, longitudinale, provenite din tendonul extensorului comun, aderă la celelalte formaţiuni fibroase.

La partea lui proximală, aparatul extensor prezintă de ambele părţi două benzi dispuse sagital, *benzile sagitale*, pe care *Legueu* şi *Juvara* (1892) le-au descris ca pe nişte fibre perforate, care pornesc de la aponevroza palmară superficială.

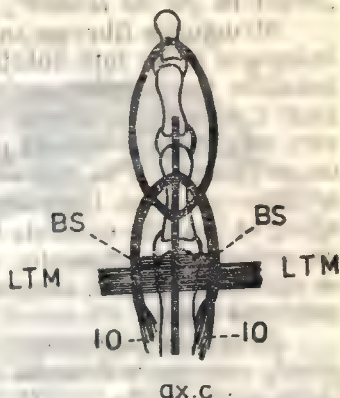


Fig. 159 — Vedere de pe faţa dorsală a benzilor sagitale şi ale interosoşilor dorsali :

Ex. C. — tendonul extensorului comun, IO — interosoşii dorsali, LTM — ligamentul transvers metacarpian, BS — benzile sagitale.

În realitate însă, fibrele din care sînt alcătuite benzile sagitale pornesc numai în mică parte din aponevroza palmară, majoritatea provenind din ligamentul transvers al metacarpienelor. Ele încrucişează apoi faţa laterală a articulaţiei metacarpo-falangiene şi se termină pe feţele laterale ale porţiunii centrale a tendonului extensor (fig. 159). Marginea proximală a lor este liberă, iar prin marginea distală se continuă cu expansiunea aponevrotică a muşchilor interosoşi. Au o lăţime de 7—8 mm şi uneori sînt duble, formînd un tunel pentru tendoanele interosoşilor. Această descriere este recunoscută de *Landsmeer* (1949), care le denumeşte *„laminae transversae"*, de *Kempf* şi *Gonzalo-Vivar* (1963), care le denumesc *„lame lateropmetacarpiene"*.

Banda sagitală cea mai bine dezvoltată este aceea care se află pe faţa radială a bazei indexului. De asemenea, banda sagitală de pe faţa cubitală a bazei degetului mic este puternic întărită de o serie de fibre care provin din muşchii hipotenarieni. Rezultă că palma dispune pe ambele margini de cîte o structură fibroasă întărită. Benzile sagitale au rolul de a menţine pe direcţie, în timpul mişcărilor, tendoanele extensorului

comun, la nivelul trecerii acestora peste articulațiile metacarpo-falangiene. Benzile mențin tendonul central peste apexul capului metacarpianului, cînd falanga proximală se flectează. În cazul în care ele se rup sau degenerează, tendonul alunecă pe laturile capului metacarpianului, își pierde eficiența de extensor al falangei proximale și acționează ca un mușchi interosos. Ca urmare, apare diformitatea cunoscută sub denumirea de *„deget în gît de lebădă"*, sau *„deget de basseball"*.

Structurile fibroase întărite, prezente pe fața radială a bazei indexului și pe fața cubitală a bazei degetului mic, nu permit luxațiile tendoanelor extensoare, în timpul mișcării de „agățare" („grasp"). În timpul mișcării de extensie, ligamentul transvers metacarpian aplicat pe fața palmară a articulațiilor metacarpo-falangiene se deplasează distal. Cum benzile sagitale sînt solidare cu acest ligament, ele se pun sub tensiune și astfel ajung să limiteze excursia tendonului extensorului comun. Forța de acțiune a tendoanelor extensorului comun ajunge astfel să se aplice, în special, asupra primei falange și, mai puțin, asupra ultimelor două.

Structura interosoșilor și funcția lor nu este atît de simplistă, cum apare descrisă în manualele clasice (vezi figura 159). După cum se știe, există 4 interosoși dorsali și 3 sau 4 interosoși palmari. Fiecare interosos dorsal este alcătuit însă, așa cum au arătat *Landsmeer* (1949 și 1955), *Eyler* și *Markee* (1954), din două componente : un fascicul profund sau dorsal, care se inseră în special pe baza falangei proximale, și un fascicul superficial sau volar, care se inseră în special pe aponevroza dorsală. Interosoșii palmari se inseră în totalitatea lor tot pe aponevroza dorsală. Dealtfel, fasciculul superficial (volar) al interosoșilor dorsali provine filogenetic din interosoșii palmari.

Expansiunile aponevrotice ale interosoșilor sînt alcătuite, pe fața radială a degetelor, de interosoșii palmari (întăriți la rîndul lor de lombricali), iar pe fața cubitală a degetelor sînt întărite de fasciculele volare ale interosoșilor dorsali.

Lombricalii alcătuiesc o unitate funcțională integrată structural, prin inserțiile lor de origine, la tendoanele flexorului profund și prin inserțiile lor distale, la aponevrozele dorsale extensoare ale degetelor. Întreaga unitate se deplasează proximal, cînd flexorul profund se contractă. Pe măsură ce degetele se flectează, lombricalii se relaxează și se alungesc, ceea ce permite relaxarea benzii laterale radiale a degetelor (bandă care rezultă din unirea tendoanelor lombricalilor cu tendoanele interosoșilor), și flectarea completă a articulațiilor interfalan-

giene devine posibilă. Pe măsură ce degetele se extind, unitatea funcţională se deplasează distal, lombricalii se contractă, pun sub tensiune banda laterală radială a degetelor şi aplică tendonul flexorului profund înainte şi în jos.

Deşi sînt mai puţin voluminoşi decît interosoşii mari, lombricalii sînt mai lungi, ceea ce le conferă o forţă contractilă mai mare. Tendoanele lombricalilor trec peste suprafaţa palmară a ligamentului transvers metacarpian, care le separă de interosoşi şi participă la alcătuirea benzii laterale radiale a aponevrozei dorsale (fig. 160). Inserţia tendoanelor lombricalilor pe aceste benzi se face mult mai oblic, sub un unghi de 35°, în comparaţie cu direcţia tendoanelor interosoşilor, deoarece interosoşii palmari se inseră sub un unghi de 20°, iar cei dorsali sub un unghi de numai 5°.

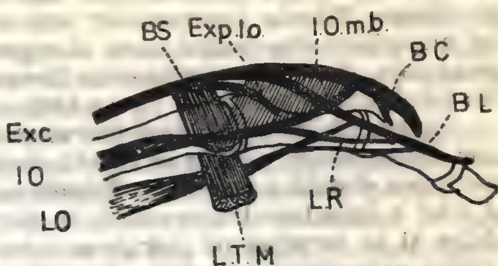


Fig. 160 — **Vedere din profil a lombricalilor şi ligamentelor retinaculare :** Ex. c. — extensor comun, IO — interosos dorsal, Lo — lombrical, BS — banda sagitală, Exp. IO — expansiunea aponevrotică a interosoşilor, IO mb — banda medială a interosoşilor, BC — banda centrală a extensorului comun, BL — banda laterală a extensorului comun, LTM — ligamentul transvers metacarpian, LR — ligamentele retinaculare.

Ca acţiune, lombricalii sînt consideraţi în mod clasic drept flexori ai primei falange şi extensori ai ultimelor două falange. Într-un amplu studiu asupra acţiunii lor *Stack* a arătat că aceasta variază în raport cu poziţia degetelor. Dat fiind bogatul lor conţinut în terminaţii nervoase şi proprioceptori *Winckler* şi *Rabischong, Verdan* şi *Michon* (1961) au sugerat că ei ar acţiona ca nişte fibre nervoase terminale, care coordonează delicatele acţiuni antagoniste ale flexorilor şi extensorilor degetelor, în timpul mişcărilor. Lombricalii se pot compara deci cu fusurile neuro-musculare care sînt în acelaşi timp şi elemente contractile şi joacă un rol de proprioceptori.

Muşchii lombricali ataşaţi tendoanelor flexorului profund fac ca acesta să acţioneze paradoxal, pînă la un anumit grad, ca un extensor interfalangian. Mecanismul apare evident în cazul patologic al deficienţei denumite *„lumbrical plus"*, care se instalează la medius, în cazul unei leziuni a tendonului flexor profund sub nivelul inserţiei de origine a lombricalilor şi se

manifestă printr-o „extensie paradoxală“ a mediusului, în timpul mişcării active de flexie a degetelor (*Parkes* — 1971 ; *Smith* — 1971 ; *Baciu, Tudor, Dorobanţu* şi *Olaru* — 1975).

Ligamentele retinaculare reprezintă o serie de structuri fibroase delicate, care ocupă spaţiul dintre articulaţia interfalangiană proximală şi aparatul extensor al degetelor. Acest spaţiu, care are o lungime de 10—15 mm, se datoreşte faptului că benzile laterale încrucişează suprafaţa laterală a falangei proximale. Fibrele ligamentelor retinaculare provin în marea lor majoritate din şanţul osos al suprafeţei volare a falangei proximale, din teaca tendoanelor flexoare şi din ţesuturile moi din jurul acestor teci (vezi figura 160).

Ligamentele retinaculare încrucişează articulaţia, în dreptul axei biomecanice, pe faţa ei volară, după care se îndreaptă spre porţiunea distală a degetelor. Fibrele cele mai proximale ajung să aibă o orientare transversală, în timp ce fibrele distale sînt oblice şi se termină pe marginea laterală a tendonului, de la nivelul articulaţiei interfalangiene proximale pînă la mijlocul falangei mijlocii. Unele din fibrele posterioare superficiale încrucişează faţa dorsală a aparatului extensor, asemănător ca direcţie cu fibrele interosoşilor. Această dispoziţie face ca ligamentele retinaculare să fie oblic dirijate dinspre suprafaţa palmară spre cea dorsală, fiind situate palmar faţă de prima articulaţie şi dorsal faţă de a doua articulaţie interfalangiană. După *Tubiana* şi *Valentin* (1963), ligamentele retinaculare sînt alcătuite dintr-un singur plan de fibre. *Landsmeer* (1949, 1955) le descrie cîte un fascicul transversal, unul superficial şi unul oblic.

Ligamentele retinaculare sînt în strînsă relaţie cu ligamentul lui *Cleland*, care porneşte de asemenea de pe marginile şanţului osos volar al falangei proximale, trece pe lîngă pachetul vasculo-nervos colateral şi se îndreaptă apoi în plan frontal spre fascia digitală, de care aderă distal. Între ligamentul lui *Cleland* şi articulaţia interfalangiană proximală se formează un spaţiu prin care trec ligamentele retinaculare.

Deşi *Stack* (1962) descrie o simetrie a modului de inserţie a diferitelor elemente care participă la realizarea aparatului extensor al degetelor, majoritatea autorilor (*Landsmeer* — 1955; *Salsbury* — 1937 ; *Tubiana* şi *Valentin* — 1963 etc.) consideră că numai mediusul şi inelarul prezintă o asemenea dispoziţie simetrică, în timp ce indexul şi auricularul, datorită situaţiei lor periferice, prezintă o dispoziţie asimetrică.

La index intervine primul interosos dorsal care este mai mare şi mai puternic decît ceilalţi interosoşi şi se inseră exclusiv pe os. Porţiunea radială a aponevrozei este formată exclusiv din tendonul primului lombrical, care are de asemenea dimensiuni mai mari şi beneficiază de o forţă contractilă mai mare decît a celorlalţi lombricali. Banda sagitală aflată pe faţa radială a bazei indexului este de asemenea mai bine dezvoltată.

La auricular aponevroza dorsală extensoare, pe faţa ei cubitală, este formată în plus de tendonul scurtului abductor al auricularului. Banda sagitală situată pe faţa cubitală a bazei auricularului este şi ea puternic întărită de fibre care provin din ceilalţi muşchi hipotenarieni.

Inserţiile osoase pe baza falangelor proximale ale diferitelor elemente care participă la alcătuirea aponevrozei dorsale extensoare se face, de asemenea, în mod deosebit, pentru fiecare deget. La index şi medius inserţiile se realizează pe faţa radială, iar la inelar şi auricular pe faţa cubitală. Această dispoziţie anatomică asigură stabilitatea degetelor mîinii în diferitele mişcări. Indexul susţinut de medius se opune mai uşor policelui. Inelarul şi auricularul se susţin mai bine împotriva acţiunii muşchilor eminenţei hipotenariene.

Privită în general, aponevroza dorsală a degetelor, care realizează practic aparatul extensor al acestora, are aspectul unui con, turtit palmar şi divizat, cu baza proximal la nivelul articulaţiei metacarpo-falangiene (fig. 161) şi cu vîrful la punctul de inserţie comună a benzilor laterale ale tendonului extensor comun. Ea este fixată proximal, prin benzile sagitale, de ligamentul transvers metacarpian şi integrează tendoanele muşchilor intrinseci (interosoşi, lombricali) şi extrinseci (extensorul comun). Între aceste tendoane se găseşte o serie de elemente fibroase de legătură (benzile sagitale şi ligamentele retinaculare), a căror dispoziţie este astfel organizată, încît să permită extensia degetului dinspre proximal spre

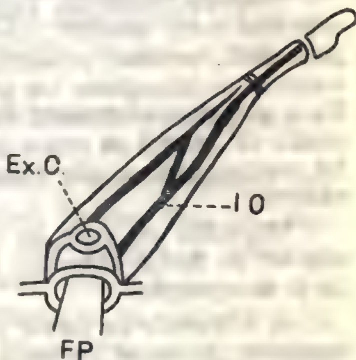


Fig. 161 — Aspectul conic al aponevrozei dorsale extensoare, conţinînd în ea falangele. F.P. — tendonul flexorului profund :
Ex. C. — tendonul extensorului comun, IO — inserţiile interosoşilor.

distal, antrenîndu-se în ordine articulațiile : metacarpo-falangiană, interfalangiană proximală și interfalangiană distală.

Structura aparatului extensor al degetelor este asemănată, de *Littler*, cu un lanț de tenodeze. Într-adevăr, simpla flexie a pumnului joacă un prim rol sinergic în extensia degetelor, prin relaxarea flexorilor digitali și întinderea extensorilor, care pune în acțiune lanțul de tenodeze.

c) *Mișcarea de circumducție* rezultă din trecerea degetelor prin cele patru poziții descrise anterior : flexie, extensie, înclinație cubitală, înclinație radială sau invers. Se realizează exclusiv la nivelul articulațiilor metacarpo-falangiene, prin intervenția tuturor grupelor musculare flexoare, înclinatoare și extensoare care intervin succesiv, după mecanismele caracteristice fiecăreia.

Biomecanica policelui. Spre deosebire de ultimele 4 degete, care au posibilități mai restrînse de mișcare, policele dispune de posibilități ample de mișcare. Aceste mișcări nu se realizează numai de către police, ci de întreaga rază externă a mîinii, reprezentată de falangele policelui, de primul metacarpian, de trapez și de scafoid *(coloana policelui — Destot)*. În realizarea mișcărilor vor interveni deci articulațiile : radio-scafoidiană, scafo-trapeziană, trapezo-metacarpiană, metacarpo-policiană și interfalangiană a policelui.

Trebuie remarcat faptul că, pentru a putea satisface, în cele mai bune condiții, mișcările complexe care revin „coloanei policelui“, aceasta prezintă, comparativ cu coloanele carpo-metacarpo-falangiene ale ultimelor 4 degete, și o altă orientare. Ea a suferit o veritabilă răsucire în loc (eversiune) de aproximativ 45°, astfel că fețele posterioare ale trapezului, ale primului metacarpian și ale falangelor policelui au devenit postero-externe.

Mișcările pe care le realizează „coloana policelui“ sînt : mișcări de flexie-extensie, de abducție-adducție, de circumducție și de opoziție.

a) *Mișcările de flexie și extensie* constau în înclinarea segmentelor „coloanei policelui“ spre fața palmară și spre fața dorsală. Mișcarea se execută în jurul unei axe oblice înainte și în afară, care trece prin baza primului metacarpian. Amplitudinea la nivelul articulației trapezo-metacarpiene este de 35—40°.

Mișcarea de flexie este realizată de scurtul abductor al policelui, scurtul flexor al policelui, opozantul și flexorul propriu ai policelui, ultimul prezentînd la nivelul tendonului ace-

leaşi elemente, componente anexe, ca şi tendoanele flexorilor comuni ai degetelor 2—5.

Mişcarea de extensie este făcută de lungul extensor şi de scurtul extensor ai policelui.

b) *Mişcările de abducţie şi adducţie* realizează depărtarea şi apropierea primului metacarpian de al doilea. Mişcarea se execută în jurul unei axe antero-posterioare, situată în centrul trapezului. Amplitudinea este de 35—40°. Lungul abductor al policelui face abducţia, iar adductorul policelui — adducţia.

c) *Mişcarea de circumducţie* constă în trecerea prin toate cele patru poziţii mai sus amintite.

d) *Mişcarea de opoziţie* este tot o mişcare combinată şi se realizează prin apropierea activă a „coloanei policelui" de ultimele patru degete. Astfel mîna are posibilitatea de a se transforma într-o veritabilă pensă, cu cele două braţe mai mult sau mai puţin rigide.

Pentru ca policele să fie considerat în opoziţie, el trebuie să fie situat în faţa degetelor 2—5 şi să privească cu faţa lui palmară, faţa palmară a celorlalte degete.

Opoziţia rezultă din combinarea a trei mişcări :

— *o mişcare unghiulară,* prin care vîrful policelui descrie un arc de 120°, între punctul cel mai depărtat de axa verticală a mîinii şi un punct care depăşeşte această axă înăuntru ;

— *o mişcare concomitentă* de rotaţie, de 90°, a policelui în jurul axei lui longitudinale ;

— *o mişcare de flexie* a ultimei falange pe prima şi a primei falange pe metacarpian.

Pentru realizarea mişcării de opoziţie, policele pleacă din poziţia de abducţie şi extensie maximă, în care faţa lui dorsală este situată pe acelaşi plan cu faţa dorsală a mîinii şi ajunge în poziţia de adducţie şi de flexie maximă, în care faţa dorsală a policelui ajunge perpendiculară pe faţa dorsală a mîinii (fig. 162). Opoziţia poate fi definită ca fiind acea „schimbare în poziţia mîinii, prin care faţa dorsală a policelui ajunge perpendiculară pe faţa dorsală a mîinii" *(Kaplan).*

Mişcarea de opoziţie este caracteristică mîinii omului. Înaintaşii noştri cei mai apropiaţi pe scara zoologică, maimuţele, prezintă această mişcare sub formă imperfect dezvoltată (fig. 163). Speciile actuale de maimuţe (gorila, cimpanzeul etc.)

prezintă un police slab opozabil și mai scurt, în timp ce metacarpienele sînt mai lungi (fig. 164). Policele lor nu este deservit de un mușchi flexor lung, dar maimuțele pot apuca cu el multe obiecte. De asemenea, maimuțelor le lipsește și tendonul extensorului scurt, sau dacă există, el se inseră pe baza pri-



Fig. 162 — Diversele poziții ale primului metacarpian (I) în mișcarea de opoziție a policelui (după Adam). Metacarpienele I—V apar secționate transversal.

R — poziția de repaus a policelui prin echilibrul mușchilor tenarieni, pe de-o parte, și a mușchilor lung abductor, lung extensor, și scurt extensor, pe de altă parte.
C — poziția de deschidere a policelui, obținută prin acțiunea simultană a scurtului extensor, care-l duce direct din R în C și acțiunea lungului abductor, care tinde să-l facă să urmeze traseul RAC.
T — poziția de retropulsie a policelui în care primul metacarpian e dirijat de lungul extensor.
O — poziția de opoziție în care pe traseul RO primul metacarpian este dus prin contracția opozantului.

mului metacarpian. Au existat însă unele specii de maimuțe, cum ar fi specia Proconsul din Africa de Est, specii astăzi dispărute, care au beneficiat de mișcări complexe de opoziție.

Mișcarea de opoziție antrenează intrarea în acțiune a lanțului osos, a lanțului articular și a lanțului muscular al coloanei policiene. În timpul mișcării, scafoidul se ridică pe trapezoid, iar metacarpianul alunecă pe trapez, ca un călăreț care alunecă în șa. Toate articulațiile coloanei policiene (radio-scafoidiana, scafo-trapeziana, trapezo-metacarpiana, metacarpofalangiana) își aduc contribuția. Așa cum a arătat *Bunnell*, chiar și articulația interfalangiană se rotează accesoriu și relativ puțin, spre sfîrșitul mișcării.

Mișcarea de opoziție se realizează, de asemenea, prin intrarea în acțiune a unui mare număr de mușchi. Mai întîi, lungul abductor și scurtul abductor depărtează policele la maximum *(poziția de start)*. Apoi flexorul lung și, mai puțin, adductorul policelui apropie policele de unul din cele patru degete. Cu cît opoziția se face spre degetul mic, cu atît intervine mai intens în mișcare scurtul flexor al policelui și mai ales opozantul.

Este semnificativ faptul că grupele musculare motorii (extrinseci și intrinseci) care pun în funcțiune policele își primesc

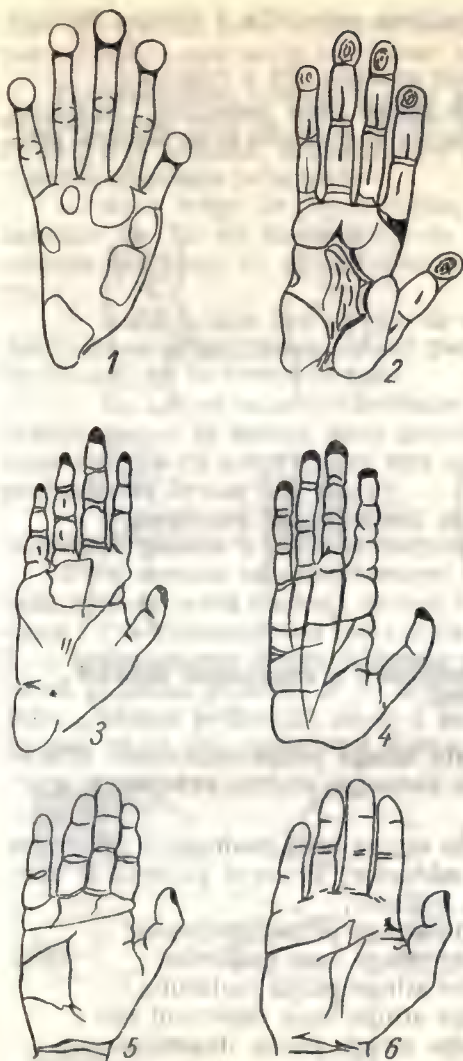


Fig. 163 — Suprafața palmară a primatelor :
1 — tarsier, 2 — lemur, 3 — maimuța rhesus, 4 — cimpanzeu, 5 și 6 — mînă de om.



Fig. 164 — Mîna de gorilă.

inervația de la toți cei trei nervi importanți ai membrului superior : radial, median și cubital.

Amplitudinea mișcării de opoziție poate fi determinată cu ajutorul scării 0—8, propusă de *Baciu*. Scara 0—8 constă în : atingerea succesivă cu pulpa policelui a opt zone palmare, re-

prezentate de bazele și de pulpele celorlalte 4 degete. Notația se face astfel (fig. 165):

0 = police balant, nu poate executa nici o mișcare ;

1 = pulpa policelui poate atinge baza indexului. Mișcarea este efectuată de scurtul adductor al policelui și de flexorul propriu al policelui ;

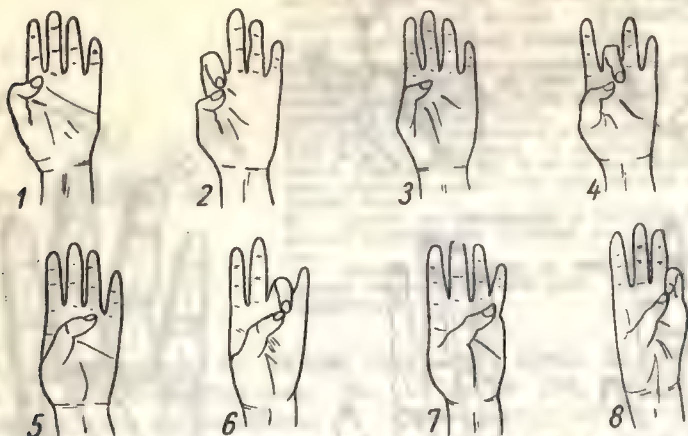


Fig. 165 — **Testul de determinare a amplitudinii opoziției (Testul 0—8 al lui Cl. Baciu).**

2 = pulpa policelui poate atinge pulpa indexului. Mișcarea este efectuată de : lungul abductor, scurtul extensor și scurtul adductor al policelui ;

3 = pulpa policelui poate atinge baza mediusului. Mișcarea este efectuată de : scurtul adductor, flexorul propriu și opozant, care începe să intre în acțiune ;

4 = pulpa policelui poate atinge pulpa mediusului ;

5 = pulpa policelui poate atinge baza inelarului ;

6 = pulpa policelui poate atinge pulpa inelarului ;

7 = pulpa policelui poate atinge baza degetului mic ;

8 = pulpa policelui poate atinge pulpa degetului mic.

Înregistrările electromiografice efectuate de *Panait* asupra mușchiului opozant, pe o mînă normală care execută scara 0—8, au arătat că activitatea bioelectrică a mușchiului opozant crește progresiv. În mișcările pentru realizarea primelor trei trepte ale scării, opozantul nu este solicitat. De la treapta a patra, contracția din ce în ce mai intensă a mușchiului se tra-

duce bioelectric prin creşterea frecvenţei şi amplitudinii biopotenţialelor, care ating maximum în notaţia 8.

Prehensiunea. Înţelegem prin aceasta posibilitatea de care dispune mîna omului de a prinde obiectele ca într-o pensă. Pentru a fi posibilă, prehensiunea presupune existenţa următoarelor elemente principale :

— două braţe de pensă rigide, care se unesc la unul din capetele lor. Cu cît aceste braţe de pensă se depărtează sau se apropie mai mult, cu atît amplitudinea de prehensiune este mai mare ;

— o articulaţie sau un şir de articulaţii, care să permită deschiderea şi închiderea acestei pense, cu braţele ei menţinute fie întinse, fie în formă de cerc ;

— un aparat musculo-tendinos integru, care să mobilizeze braţele pensei în sensul dorit pentru prehensiune sau deprehensiune. Cu cît acest aparat este mai puternic, cu atît forţa de prehensiune devine mai mare ;

— o acoperire tegumentară şi de ţesuturi moi mobile şi suficiente pentru a permite închiderea şi deschiderea pensei.

Mîna omului este arhitectural şi funcţional astfel dezvoltată, încît să poată dispune de trei forme principale de prehensiune : 1 — prehensiunea între două din ultimele patru degete ; 2 — prehensiunea dintre ultimele patru degete împreună sau izolat şi podul palmei ; 3 — prehensiunea cea mai completă, între „coloana policelui“, pe de o parte, şi restul degetelor şi al palmei, pe de altă parte (vezi figura 166).

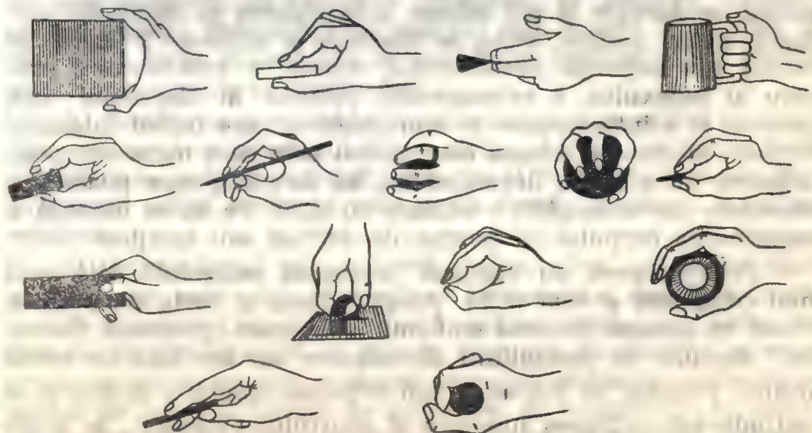


Fig. 166 — **Forme de prehensiune uzuale.**

Prehensiunea între ultimele 4 degete se efectuează de către două degete care joacă rolul brațelor de pensă, apropiindu-se și depărtîndu-se mult de celălalt prin mișcarea de adducție și de abducție pe care o permit articulațiile lor metacarpo-falangiene, sub acțiunea interosoșilor palmari care le apropie și a interosoșilor dorsali care le depărtează. La apropierea degetelor mai contribuie flexorul comun al degetelor și extensorul propriu al indexului, iar la depărtarea lor mai contribuie extensorul comun al degetelor și extensorul propriu al degetului mic. Această formă de prehensiune permite, de regulă, o prindere simplistă, fără multă forță și nu pentru multă durată, numai a obiectelor mici. În sport această formă de prehensiune este folosită la prinderea suliței, iar degetele prehensoare 2 și 3 sînt dublate, primul de police și al doilea de celelalte degete (fig. 167).

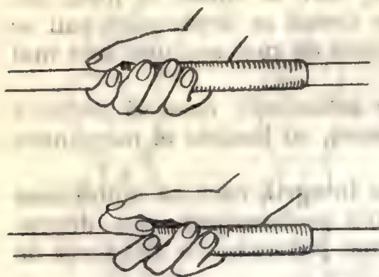


Fig. 167 — Forme de prehensiune în sport.

Prehensiunea între ultimele 4 degete și podul palmei este posibilă prin acțiunea flexorului comun profund, care flectează falangele distale, a flexorului comun superficial, care flectează falangele proximale. Sub acțiunea acestor mușchi, degetele se strîng, se apropie și pot atinge, prin pulpele și fețele lor palmare, podul palmei. Mîna se deschide și ultimele 4 degete se întind sub acțiunea extensorului comun, a extensorului propriu al indexului, a extensorului propriu al degetului mic, precum și a interosoșilor și lombricalilor care întind falangele mijlocii și distale. Acesta este modul prin care mîna are posibilitatea de a agăța, devenind un fel de cîrlig care poate ține obiectele (de exemplu : o căldare cu apă). Pe ea se bazează și menținerea corpului în poziția de atîrnat sau sprijinit.

Prehensiunea cu ajutorul „coloanei policelui" este mult mai complexă și mai utilă. Amplitudinea și forța de prehensiune cu această coloană sînt mult mai mari. „Coloana policelui" dispune de posibilități de mișcare variate față de restul mîinii. Policele se flectează sub acțiunea lungului flexor și se extinde sub acțiunea lungului și scurtului extensor ; se poate depărta de index sub acțiunea lungului abductor, a lungului

extensor, a scurtului extensor și scurtului abductor, și se poate apropia sub acțiunea adductorului și, în parte, a extensorului lung și a lungului flexor, mișcarea efectuîndu-se în special din articulația trapezo-metacarpiană. Mișcarea principală pe care o execută însă „coloana policelui" este aceea de opoziție, descrisă anterior.

Bineînțeles că și al doilea braț al pensei prehensoare intră concomitent în acțiune prin flexia ultimelor 4 degete și astfel mîna formează un cerc complet sau incomplet, care poate apuca obiectele.

Se poate spune că mușchii mîinii se împart în două mari grupe, după acțiunea principală pe care o au. În prima grupă intră așa-numiții mușchi de atitudine, cum sînt : extensorii degetelor, abductorul policelui și mușchii opozanți, care pun mîna în atitudinea cea mai potrivită pentru executarea unei munci și o deschid pentru a pregăti prinderea. În a doua grupă intră mușchii de forță, cum sînt : flexorii degetelor și adductorul policelui, care execută prinderea propriu-zisă.

Prinderea se face, pe de o parte, în raport cu forma, dimensiunile, volumul și greutatea obiectelor, iar, pe de altă parte, cu forța și precizia pe care o pretinde mișcarea ce urmează să fie executată. Se pot descrie astfel mai multe feluri de prindere :

a) Prinderea cu mîna întreagă a uneltelor grele, cum ar fi ciocanul, sapa, furca etc., care sînt ținute de mîner pentru a fi utilizate cu forță. În acest caz flexorii degetelor mențin unealta pe care policele o aplică pe celelalte degete. În sport, un asemenea tip de prindere întîlnim la canotaj, haltere, scrimă (sabie), gimnastică la aparate etc. Pentru a se mări și mai mult forța de apucare se pot folosi ambele mîini suprapuse, ca la aruncarea ciocanului.

b) Prinderea prin adducția policelui, care se aplică pe marginea externă a indexului făcut cîrlig. Astfel se pot prinde obiecte late, subțiri și lungi, cum ar fi hățurile, jurnalul etc. Prinderea astfel realizată este de o forță și de o precizie relativă.

c) Prinderea cu pensa curbă police-index, ca atunci cînd prindem un bold este o prindere de precizie, dar fără forță.

d) Prinderea cu pensa lungă police-index, cu ramurile întinse, ca atunci cînd se prinde o pensă de disecție sau un arcuș, în care caz, sub acțiunea scurtului abductor, policele se aplică pe indexul flectat de interosoși și lombricali. În sport, un asemenea tip de prindere îl întîlnim la scrimă (floretă).

e) Prinderea cu primele trei degete extinse, în care policele cu falanga distală extinsă se aplică pe marginea laterală a mediusului, obiectul fiind prins între ele, în timp ce indexul, şi el este extins, serveşte drept conducător. Acesta este modul de prindere a bisturiului, mod care uneşte forţa cu precizia.

Alte mişcări ale mîinii. Mîna mai dispune şi de posibilitatea de a susţine şi de a împinge, completînd sau uneori chiar suplinind, pînă la un punct, prehensiunea.

Susţinerea se poate face cu faţa dorsală sau cu faţa palmară a mîinilor, dar în special cu ultima, care, fiind uşor concavă în ambele sensuri, se poate asemăna cu o cupă care păstrează mai bine obiectele în echilibru. Mîna propriu-zisă constituie suprafaţa cea mai întinsă de care ne servim pentru susţinere, degetele fiind numai accesorii.

Împingerea se efectuează de obicei tot cu podul palmei, care, fiind acoperit de perniţele de ţesuturi moi tenariene şi hipotenariene, permite transmiterea unei forţe foarte însemnate spre obiectul de împins, fără ca acesta să producă tulburări sau striviri. Cînd împingerea trebuie făcută şi cu viteză, ca la aruncarea greutăţii, se folosesc şi ultimele 4 degete, care joacă rol de pîrghii.

În afara prehensiunii, susţinerii şi împingerii, membrul superior mai are posibilitatea de a lovi şi de a arunca, acţiuni ce reprezintă forme mai deosebite de împingere care pun în joc întregul lanţ articular şi muscular al membrului care execută mişcarea. Poziţiile atîrnat şi sprijinit sînt, de asemenea, posibile tot prin intrarea în acţiune a mecanismelor prehensiunii. Vom reveni asupra acestor mişcări şi poziţii la capitolul poziţiilor de bază şi al deprinderilor motorii complexe.

Mîna ca organ de exprimare şi ca organ al sensibilităţii. Multiplele posibilităţi de mişcare de care dispune mîna omenească, fac din ea un veritabil mijloc de exprimare sau de întărire a celor spuse. Gesturile care se execută cu mîna sînt deseori mai semnificative decît vorbele.

La surdo-muţi, mîna s-a transformat într-un adevărat organ al limbajului, fiecare literă a alfabetului fiind înlocuită de o anumită poziţie a mîinii (fig. 168).

Mîna este organul principal al exprimării sentimentelor celor mai complexe şi profunde, prin intermediul limbajului muzical, conformaţia şi posibilităţile ei de mişcare permiţînd interpretările cele mai variate şi pretenţioase. Ca ritm, de exemplu, mîna stîngă a unui virtuos al viorii, este capabilă să



Fig. 168 — Alfabetul surdo-muţilor.

efectueze 580 atingeri ale coardelor, în timp de un minut, iar ca intensitate este capabilă să efectueze 1 180 diferite „nuanţări" de atingere, presiunea exercitată de degete pe corzi variind între 100 g şi 500 g.

Mîna nu este însă numai un organ specializat de mişcare, ci şi un organ specializat al sensibilităţii. Dintre funcţiile sen-

zoriale ale mîinii sînt de reținut aprecierea formei și volumului obiectelor (stereognozia), aprecierea greutății obiectelor (barognozia) și aprecierea preciziei mișcărilor (cinestezia). Posibilitățile multiple funcționale ale mîinii, atît în realizarea mișcărilor, cît și ca organ al sensibilității, au determinat ca suprafața de proiectare pe scoarța cerebrală să reprezinte practic o treime din întreaga suprafață corticală (fig. 169).

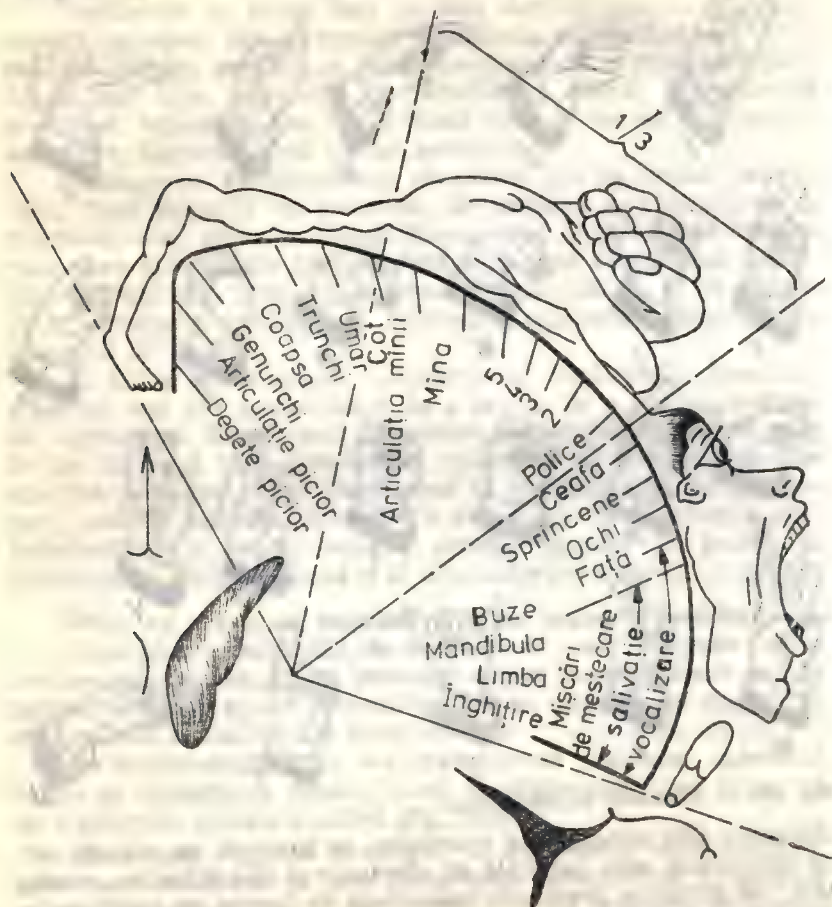


Fig. 169 — Proiectarea corticală a funcțiilor motorii și senzoriale ale mîinii, în comparație cu a altor organe sau segmente; mîna ocupă o treime din suprafața totală.

Dar nu numai mîna în totalitate, ci chiar şi fiecare deget în parte dispune, din punct de vedere al calităţilor lui senzoriale şi motorii, de calităţi bine diferenţiate.

Policele, datorită mişcărilor de opoziţie de care dispune, este degetul care realizează forma principală a prehensiunii — pensa dintre police şi restul mîinii. Este cel mai important deget al mîinii şi pierderea lui reduce capacitatea funcţională a acesteia cu 60%. Fără police, mîna nu poate executa decît mişcări de împingere sau susţinere (cu faţa dorsală sau palmară) şi mişcări de prehensiune între ultimele patru degete sau între ele şi podul palmei.

Indexul este degetul adresei. Are forţă şi intervine ca unul din stabilizatorii principali ai mişcării de prehensiune. În plus, este şi degetul care dispune de forma cea mai înaltă de sensibilitate. Deget tactil prin excelenţă, el sesizează în cel mai înalt grad formele obiectelor şi dirijează mişcările de creare a acestor forme. Este degetul pe care se bazează activitatea olarului, a sculptorului etc.

Degetul mijlociu este degetul forţei. Este indispensabil prehensiunii obiectelor grele şi menţinerii corpului în poziţiile atîrnat sau sprijinit.

Inelarul completează acţiunea degetului mijlociu în mişcările de forţă. În acelaşi timp are şi el o capacitate deosebită de sensibilitate, sesizînd poziţia la distanţă a extremităţilor obiectelor lungi ţinute în mînă. Este degetul care sesizează poziţia în spaţiu a vîrfului floretei sau a capătului vîslei.

Degetul mic are un rol mai redus. Prin prezenţa lui, măreşte lungimea pensei digito-palmare, conferind astfel o stabilitate mai mare prehensiunii.

MEMBRUL SUPERIOR CA LANŢ CINEMATIC

Centura scapulară, umărul, braţul, cotul, antebraţul, gîtul mîinii şi mîna pot acţiona în cursul diferitelor mişcări fie ca un lanţ cinematic deschis, fie ca unul închis.

Ca lanţ cinematic deschis membrul superior acţionează în poziţia ortostatică în următoarele mişcări (pe care le vom denumi după terminologia lor din gimnastică) :

— ridicarea şi coborîrea braţelor prin lateral, prin înainte, prin înapoi sau prin orice altă direcţie intermediară ;

— răsucirea înăuntru şi în afară (mişcările de rotaţie internă şi externă din terminologia anatomică);
— rotaţia dinapoi înainte şi dinainte înapoi (mişcările de circumducţie din terminologia anatomică);
— apucarea;
— împingerea;
— aruncarea;
— lovirea.

Ca lanţ cinematic închis membrul superior acţionează în următoarele poziţii şi mişcări:

— susţinerea corpului în poziţiile atîrnat, atîrnat sprijinit şi stînd pe mîini, precum şi în toate mişcările pe care le execută din aceste poziţii;

— căţărarea;

— amortizarea căderii pe sol (în căderea pe mîini).

Pentru exemplificarea modului în care acţionează membrul superior şi a modului în care trebuie prezentat studiul anatomo-funcţional şi biomecanic al diverselor mişcări ale acestuia, vom prezenta una dintre ele şi anume, ridicarea braţelor prin lateral sus.

RIDICAREA BRAŢELOR PRIN LATERAL SUS

Ridicarea braţelor prin lateral sus este o mişcare aparent simplă, care se execută frecvent în cadrul exerciţiilor fizice.

Denumire, descriere, încadrare. Ridicarea braţelor prin lateral sus corespunde în terminologia anatomo-biomecanică mişcării de abducţie a membrelor superioare. Poziţia de plecare este poziţia ortostatică („de drepţi"). Deplasarea membrelor superioare extinse se face în planul medio-frontal, pe o amplitudine totală de 180°. În poziţia finală, membrele superioare ajung extinse vertical în sus. Mişcării de abducţie i se asociază concomitent şi o mişcare de rotaţie maximă în afara braţului, completată cu o mişcare de supinaţie maximă a antebraţului. Datorită acestor mişcări complementare, faţa palmară a mîinilor, care privea în poziţia iniţială medial, ajunge la amplitudinea de abducţie de 90° să privească înainte şi apoi din nou medial, în poziţia finală.

În realizarea mişcării sînt angrenate toate segmentele, lanţurile osteo-articulare, lanţurile musculare şi pîrghiile trun-

chiului, membrelor inferioare și membrelor superioare. Caracteristica mișcării este însă reprezentată de mișcarea de abducție a brațului în plan medio-frontal.

Lanțul osteo-articular. Membrele superioare acționează în timpul acestei mișcări ca lanțuri cinematice deschise. Lanțurile osteo-articulare angajate în mișcare sînt următoarele: articulația scapulo-humerală, așa-zisa „a doua articulație a umărului", articulațiile centurii scapulare, articulațiile coloanei vertebrale dorsale și articulațiile radio-cubitale.

Articulația scapulo-humerală permite o amplitudine de abducție a brațului de numai 72°.

Mișcarea se realizează în jurul unei axe biomecanice antero-posterioare care trece prin partea infero-externă a capului humeral, puțin înăuntrul gîtului anatomic, care nu se proiectează pe un punct fix, ci pe o zonă ovoidă (vezi figura 127).

Abducția din articulația scapulo-humerală este posibilă pînă cînd marea tuberozitate a humerusului, care a alunecat pe sub acoperișul acromial, se lovește de porțiunea superioară a bureletului glenoidian. În acest moment, care corespunde amplitudinii de mișcare de 72°, capul humeral părăsește pe o mare întindere cavitatea glenoidă și, ajungînd să privească în jos, intră în contact cu capsula articulară inferioară.

La realizarea mișcării pînă la 72° participă și așa-numita „a doua articulație a umărului", reprezentată de sissarcoza spațiului subacromio-deltoidian. Experimental s-a demonstrat că dacă se desființează această „articulație", prin suturarea acromionului și a ligamentului coraco-humeral la discul alcătuit din tendoane, mișcările umărului se reduc, ca amplitudine, la jumătate. Blocajul reumatic al acestei articulații, ca în „periartroza scapulo-humerală", duce la instalarea a ceea ce anglosaxonii denumesc (*„Frozen-Schoulder"*), adică umăr înghețat, umăr fără mișcări.

Peste 72° mișcarea se realizează prin intrarea în acțiune a articulațiilor centurii scapulare: interscapulo-toracică, acromio-claviculară și sterno-claviculară. Cînd mișcarea se execută numai de o singură parte, coloana vertebrală dorsală este angrenată și ea, printr-o ușoară inflexiune laterală, cu convexitatea de partea membrului superior care se mișcă. Proporțional, partea de contribuție a diferitelor articulații, la realizarea mișcării de abducție este următoarea:

Articulația	Amplitudinea mișcării	
	În grade	Procentual
Scapulo-humerală și „a doua articulație a umărului"	72°	40%
Articulațiile centurii scapulare (plus coloana dorsală pentru mișcările de o singură parte)	108°	60%
TOTAL:	180°	100%

După cum se vede, 60% din amplitudinea totală a mișcării se datorește nu articulației scapulo-humerale, ci articulațiilor centurii scapulare. Alunecarea centurii scapulare pe torace și orientarea ei diferită în raport cu necesitățile de mișcare este posibilă, în primul rînd, datorită mobilizării altei sissarcoze a corpului omenesc și anume a articulației interscapulo-toracice (vezi figura 120), care permite deplasarea amplă a omoplatului pe torace, datorită spațiilor celulare intermusculare (interserato-scapular și interserato-toracic). Omoplatul se deplasează pe torace lateral și concomitent execută o mișcare de basculă, în jurul axei antero-posterioare situată în apropierea unghiului său supero-intern. În felul acesta unghiul supero-extern al omoplatului cu cavitatea glenoidă se ridică și se orientează lateral și înainte, iar unghiul inferior se depărtează de coloana vertebrală cu aproximativ 45°, omoplatul tinzînd să ajungă în „planul omoplatului" (plan oblic îndreptat dinăuntru în afară și dinapoi înainte cu 30°, care permite o mișcare de abducție maximă a brațului).

Mobilizarea totală a centurii scapulare nu ar fi posibilă, fără intrarea în acțiune și a celorlalte articulații ale ei, acromio-claviculară și sterno-claviculară. În articulația acromio-claviculară, artrodie cu un grad de libertate, se produc mișcări de alunecare, pe o amplitudine de 18° (13%) în jurul unei axe biomecanice reprezentată de ligamentele extrinseci ale articulației (ligamentele coraco-claviculare). Acromio-claviculara permite o deplasare mai adaptată a omoplatului pe torace. Dacă ea nu ar exista, omoplatul ar trebui să se depărteze de torace, pentru a se putea deplasa (vezi figura 119,2).

Articulația sterno-claviculară, diartroză selară (prin îmbucare reciprocă), cu trei grade de libertate, permite mișcarea combinată de ridicare și de proiecție înainte a claviculei în jurul unei axe biomecanice antero-posterioare care trece la

nivelul inserţiei costale a ligamentului costo-clavicular (vezi figura 119).

În jurul acestui ligament costo-clavicular, extremităţile claviculei se deplasează concomitent, dar în sens invers, printr-un mecanism de basculă. Prin acest mecanism, extremitatea externă a claviculei urcă în timpul abducţiei braţului cu 8—10 cm, în timp ce extremitatea internă a claviculei coboară cu cîţiva milimetri. În plus, în abducţia braţului, aşa cum au arătat *Inman* şi colab., clavicula prezintă o uşoară mişcare de rotaţie în sus şi înapoi, în jurul axei ei lungi.

Extremitatea medială a claviculei reprezintă astfel singurul punct stabil de sprijin al centurii scapulare şi membrului superior pe torace, iar ligamentul costo-clavicular se dovedeşte a fi pivotul principal în jurul căruia se execută toate mişcările centurii scapulare şi ale membrului superior. Datorită faptului că întreaga centură scapulară are un singur punct de sprijin, iar omoplatul basculează liber la celălalt capăt al centurii, deplasările lui au fost pe bună dreptate comparate de *Dumas* şi *Renault*, cu acelea ale unui săritor cu prăjina. Dacă se inversează figura 119, se poate imagina omoplatul (O) ca fiind săritorul, clavicula (C) ca fiind prăjina şi articulaţia sterno-claviculară (1) ca fiind cutia de înfigere a prăjinii.

Lanţul muscular. Acţiunea mobilizatoare se propagă de la centru spre periferie. Centura musculară din jurul centrului de greutate al corpului se contractă prima, apoi acţiunile lanţurilor musculare fixatoare ale centurii scapulare, ridicătoare ale centurii scapulare, abductoare, extensoare şi rotatoare în afară a braţelor şi supinatoare ale antebraţelor se succed şi se completează. Grupele musculare agoniste îşi iau puncte fixe pe capetele centrale de inserţie, se contractă izotonic apropiindu-şi capetele de inserţie şi acţionează astfel asupra segmentelor prin capetele lor periferice.

Muşchii abductori principali ai braţului rămîn următorii :

Muşchiul	Inserţia	
	Centrală	Periferică
Deltoid	Claviculă, acromion, spina omoplatului	Amprenta deltoidiană a humerusului
Supraspinos	Fosa supraspinoasă omoplat	Marea tuberozitate a humerusului
Biceps brahial (lunga porţiune)	Foseta supraglenoidiană omoplat	Tuberozitate bicipitală radius

Acțiunile deltoidului și supraspinosului au fost pe larg prezentate la biomecanica umărului, în cadrul mișcărilor de abducție și adducție.

Lunga porțiune a bicepsului are un rol secundar ca abductor al brațului, dar deosebit de interesant din punct de vedere al realizării mișcării integrale. Bicepsul brahial este un mușchi biarticular, care trece peste două articulații, a umărului și a cotului. Luîndu-și punct fix de inserție pe capătul lui central, în foseta supraglenoidiană a omoplatului, el este un ajutător al abductorilor principali ai brațului (deltoidul și supraspinosul). Concomitent este un ajutător al supraspinosului în acțiunea lui de punere în tensiune a capsulei articulare și în menținerea contactului normal dintre extremitățile articulare scapulo-humerale. Prin capul lui distal, care se inseră pe tuberozitatea bicipitală a radiusului, acționează însă concomitent și asupra antebrațului pe care îl supinează, pînă la atingerea poziției de supinație maximă, care se asociază abducției brațului.

Pe măsură ce brațele ajung să fie întinse în sus, un alt mușchi intervine pentru a se menține poziția și anume tricepsul sural care, în momentul final, se contractă izotonic, nelăsînd antebrațul să se flecteze sub acțiunea forțelor gravitaționale.

În tot timpul mișcării mîna și degetele sînt menținute în poziție dreaptă prin echilibrarea musculară dintre grupele flexoare și extensoare ale antebrațului și mîinii.

Acțiunea pîrghiilor. Segmentele angajate în mișcarea de ridicare a brațelor prin lateral sus (centura scapulară, braț, antebraț și mînă) acționează, în cadrul lanțului cinematic deschis, ca pîrghii de gradul III, deci ca pîrghii de viteză. Din lanțul de pîrghii care intervin, cea mai importantă rămîne pîrghia brațului, a cărei acțiune a fost, de asemenea, descrisă la biomecanica umărului, în cadrul mișcărilor de abducție și adducție (vezi figura 133).

Mișcarea de coborîre a brațelor. Revenirea la poziția inițială se realizează printr-o mișcare de adducție a membrelor superioare, însoțită de o mișcare de rotație internă a brațelor și de pronație a antebrațelor. Mișcarea de adducție a brațului este realizată de aceleași lanțuri osteo-articulare, pîrghii și chiar lanțuri musculare care au realizat abducția. Membrele

superioare sînt lăsate să se apropie de trunchi sub controlul mușchilor abductori ai umărului, care își iau punct fix central și se contractă alungindu-se (formă a contracției izometrice). Mișcării de adducție i se asociază și o mișcare de rotație internă a brațului, realizată prin contracția izotonică a mușchilor subscapular, pectoral mare și a fasciculelor anterioare ale deltoidului. Concomitent se face și pronația antebrațelor, prin intrarea în acțiune a mușchilor pronatori, rotundul și pătratul pronator, pînă cînd fețele palmare ale mîinilor extinse ajung să privească fața externă a coapselor.

BAZINUL

Formațiune anatomică complexă, bazinul face legătura între coloana vertebrală și membrele inferioare. Datorită poziției lui de intermediar și prin analogie cu centura scapulară a membrului superior, bazinul se mai numește și *centura pelvină*. Spre deosebire însă de centura scapulară, care este deosebit de mobilă, centura pelvină este rigidă. Rolul ei nu este de a permite mișcări de mare amplitudine, ci numai de a transmite greutatea corpului spre membrele inferioare și de a susține viscerele abdominale. Are, deci, un rol static prin excelență.

SCHELETUL BAZINULUI

Scheletul bazinului este alcătuit latero-anterior din două oase coxale, reunite anterior printr-o *simfiză pubiană* și posterior prin segmentul *sacro-coccigian* al coloanei vertebrale, cu care oasele coxale se articulează strîns (fig. 170).

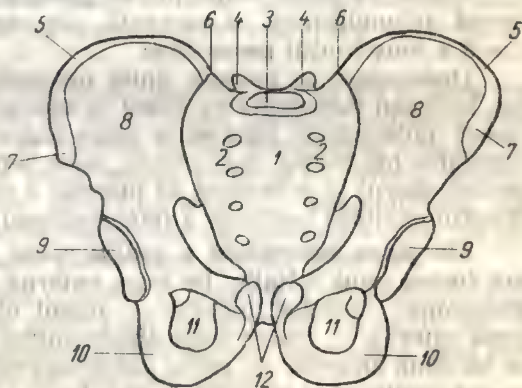


Fig. 170 — Scheletul bazinului:
1 — sacru, 2 — găurile sacrate anterioare, 3 — suprafață articulară pentru L_5, 4 — apofiza articulară sacrată, 5 — creasta iliacă, 6 — spina iliacă postero-superioară, 7 — spina iliacă antero-superioară, 8 — fosa iliacă internă, 9 — cavitatea cotiloidă, 10 — tuberozitatea ischiatică, 11 — gaura obturatorie, 12 — simfiza pubiană.

Osul coxal este un os plat, de formă patrulateră, alcătuit din 3 piese: *iliacul* situat în sus și în afară, *pubisul* situat înainte și *ischionul* situat în jos. Toate aceste 3 piese converg către centrul osului coxal, care prezintă pe fața lui externă *cavitatea cotiloidă.*

Osul coxal are două fețe — externă și internă — și patru margini — superioară, anterioară, inferioară și posterioară.

Fața externă a osului coxal prezintă în centrul ei *cavitatea cotiloidă (acetabulum),* de formă sferoidă, delimitată de o *margine* sau *sprînceană cotiloidiană.* Cavitatea cotiloidă este suprafața articulară oferită de osul coxal pentru articulația cu capul femurului.

Deasupra cavității cotiloide, se întinde *fosa iliacă externă,* pe care se inseră mușchii fesieri. În zona ei anterioară se inseră fesierul mic, în zona mijlocie — fesierul mijlociu și în zona posterioară — fesierul mare.

Sub cavitatea cotiloidă se găsește *gaura obturatoare* sau *ischio-pubiană,* de o formă aproximativ triunghiulară, formată de ramura orizontală a pubisului, corpul pubisului, ramura descendentă a pubisului, ramura ascendentă a ischionului și corpul ischionului.

Fața internă a osului coxal prezintă la mijlocul ei o proeminență liniară, *linia nenumită,* îndreptată oblic în jos și înainte.

Deasupra liniei nenumite se găsește *fosa iliacă internă* de formă triunghiulară și escavată, pe care se inseră porțiunea iliacă a mușchiului psoas-iliac.

Dedesubtul și înapoia liniei nenumite, mergînd de sus în jos, întîlnim *tuberozitatea iliacă* (o suprafață rugoasă pe care se inseră puternicele ligamente sacro-iliace), *fațeta auriculară a coxalului* (de forma unei urechi, care reprezintă fața articulară pentru sacru) și *suprafața de inserție a obturatorului intern* (în dreptul cavității cotiloide a feței externe).

Marginea superioară a osului coxal, numită *creasta iliacă,* are forma unui S italic. Pe buza externă se inseră marele oblic abdominal, în zona mijlocie — micul oblic abdominal, iar pe buza internă — transversul abdomenului. Marginea superioară se termină anterior cu *spina iliacă antero-superioară,* pe care se inseră croitorul și tensorul fasciei lata.

Marginea anterioară a osului coxal coboară de la spina iliacă antero-superioară și prezintă o *scobitură nenumită,* o *spină iliacă antero-inferioară,* pe care se inseră tendonul direct al dreptului anterior al cvadricepsului, o scobitură prin care alunecă psoasul iliac, o *eminență ilio-pectinee,* o *suprafață pecti-*

nealǎ pentru inserţia muşchiului pectineu, un tubercul denumit *spina pubisului şi o suprafaţă pentru inserţia marelui drept abdominal.* Marginea anterioară se termină distal cu *unghiul pubisului*, de unde începe marginea inferioară a osului coxal.

Marginea inferioară a osului coxal se întinde de la unghiul pubisului la corpul ischionului şi este format din ramura descendentă a pubisului şi din cea ascendentă a ischionului. Prezintă dinainte înapoi o *faţetă pubiană*, de formă ovală, pentru articulaţia cu celălalt os coxal şi *suprafaţa de inserţie pentru dreptul intern şi marele adductor* (muşchi ai coapsei). Marginea inferioară a osului coxal se termină cu corpul ischionului, denumit şi *marea tuberozitate ischiatică.* Acesta reprezintă segmentul cel mai gros al osului coxal şi suportă greutatea corpului în poziţia şezînd. Pe marea tuberozitate ischiatică se inseră marele adductor al coapsei, muşchii ischio-gambieri (semitendinosul, semimembranosul şi bicepsul femural) şi muşchii posteriori ai şoldului (gemenul inferior şi pătratul femural).

Marginea posterioară a osului coxal este verticală şi începe de la tuberozitatea ischiatică. Urmărită de jos în sus, ea prezintă : *mica scobitură sciatică*, *spina sciatică* (pe care se inseră micul ligament sacro-sciatic şi muşchiul gemen superior), *marea scobitură sciatică* (prin care ies din bazin muşchiul piramidal, vase şi nervi, printre care şi nervul sciatic) şi *spina iliacă postero-inferioară.* Marginea posterioară se termină cu *spina iliacă postero-superioară*, de la care începe marginea superioară a osului coxal.

Sacrul este un os median şi simetric, format din sudura vertebrelor sacrate. Aşezat în continuarea coloanei lombare, între cele două oase coxale, el închide partea posterioară a bazinului. Este îndreptat oblic în jos şi înapoi, formînd cu ultima vertebră lombară un unghi care proemină anterior, *promontoriul.* Are forma unei piramide cvadriunghiulare şi prezintă *o bază, un vîrf* şi *patru feţe* (anterioară, posterioară şi două laterale).

Faţa anterioară este concavă şi prezintă 4 linii transversale, care indică nivelele de sudură ale vertebrelor. La capul lor, de o parte şi de alta, se găsesc *găurile sacrate anterioare,* prin care ies ramurile anterioare ale nervilor sacraţi.

Faţa posterioară este convexă şi prezintă în partea superioară, pe linia mediană, o *creastă sacrată* şi în partea inferioară un *canal sacrat.* De o parte şi de alta a liniei mediane se găsesc *găurile sacrate posterioare,* prin care ies ramurile posterioare ale nervilor sacraţi.

Fețele laterale prezintă fiecare cîte o *fațetă auriculară*, pentru articulația cu fațetele auriculare corespunzătoare ale oaselor coxale.

Baza sacrului, în poziție ortostatică, privește în sus și puțin înainte și prezintă median o *suprafață articulară plană*, ovală, pentru articulația cu fața inferioară a corpului celei de a cincea vertebre lombare. Înapoia acestei vertebre articulare se află *orificiul superior al canalului sacrat*, iar lateral de acesta — *apofizele articulare ale sacrului*, care se articulează cu apofizele articulare inferioare ale celei de a cincea vertebre lombare.

Vîrful sacrului este constituit dintr-o *suprafață articulară* pentru coccige și din două mici coarne, *coarnele sacrului*.

Coccigele este situat sub sacru, a cărui direcție o continuă și rezultă din sudura celor 4 sau 5 vertebre coccigiene. Are forma unei piramide triunghiulare cu baza în sus.

ARTICULAȚIILE BAZINULUI

Segmentele osoase care alcătuiesc scheletul bazinului se articulează astfel între ele : înainte prin *simfiza pubiană* și înapoi prin *articulațiile sacro-iliace*. În plus, posterior, mai există și *articulația sacro-coccigiană*.

Simfiza pubisului este o articulație semimobilă.

a) *Suprafețele articulare* sînt reprezentate de fețele ovale, cu marea axă îndreptată oblic în jos și înapoi, care se găsesc pe marginea inferioară a oaselor coxale, imediat sub unghiul pubisului. Pe viu, ele sînt acoperite de cartilaj hialin.

b) Cele două suprafețe articulare sînt unite între ele printr-un *ligament interosos* și prin patru *ligamente periferice*, dispuse anterior, posterior, superior și inferior. Ligamentul interosos umple spațiile dintre cele două suprafețe articulare și se aseamănă ca rol cu discurile intervertebrale. Ligamentele periferice realizează o adevărată capsulă fibroasă, care înconjură articulația ca un manșon transversal.

Articulațiile sacro-iliace sînt tot articulații semimobile.

a) *Suprafețele articulare* sînt reprezentate de *fațetele auriculare*, care se găsesc la nivelul oaselor coxale, pe fețele lor interne, sub unghiurile postero-superioare, iar la nivelul sacrului de fețele sale laterale.

Fețele auriculare ale sacrului și coxalului își corespund exact ca formă și dimensiuni.

b) *Mijloacele de unire* care solidarizează fațetele auriculare ale sacrului cu ale coxalului sînt reprezentate de o *capsulă fibroasă*, întărită anterior și posterior de cîte un *ligament*. Ligamentul sacro-iliac posterior este alcătuit din patru straturi, dintre care cel mai important este reprezentat de *fasciculul ilio-transversal al lui Zaglas*, care unește creasta osului iliac și spina iliacă postero-superioară a acestuia cu sacrul.

În afara acestor ligamente proprii articulațiilor sacro-iliace, sacrul mai este legat de oasele coxale și prin alte ligamente puternice extrinseci, numite *ligamente sacro-sciatice*, care se întind de la fața posterioară a articulațiilor sacro-iliace la tuberozitatea ischiatică *(marele ligament sacro-sciatic)* și la spina sciatică *(micul ligament sacro-sciatic)*. Un alt ligament extrinsec deosebit de puternic, *ligamentul ilio-lombar*, se întinde deasupra articulației sacro-iliace și solidarizează ultimele două vertebre lombare la creasta iliacă.

Articulația sacro-coccigiană este o artrodie fără importanță funcțională.

CONFORMAȚIA GENERALĂ A BAZINULUI

Astfel realizat, bazinul are forma unui trunchi de con cu baza mare în sus. Inelul format anterior de marginea superioară a simfizei pubiene, lateral de liniile nenumite de pe fețele interne ale coxalelor și posterior de promotoriu împarte bazinul în două etaje : *marele bazin*, situat proximal, și *micul bazin*, situat distal. Acest inel de demarcație între marele bazin și micul bazin se numește *strîmtoarea superioară*, iar limita inferioară a micului bazin se numește *strîmtoarea inferioară*. Diametrele lor transversale, oblice și antero-posterioare joacă, la femeie, un rol important în desfășurarea normală a nașterii. De aceea, bazinul este diferit structurat la femeie și la bărbat. La femei este mai larg *(diametrul bitrohanterian* și *biiliac* este mai mare) și prezintă o strîmtoare superioară mai ovală în sens transversal, iar scobitura sciatică este mai larg deschisă.

STATICA BAZINULUI ȘI ORIENTAREA TRABECULELOR OSOASE

Sacrul se poate asemăna cu un ic, introdus între cele două oase coxale. În momentul aplicării forțelor de greutate, el este reținut să nu se prăbușească în micul bazin datorită conformației

articulaţiilor sacro-iliace şi puternicele ligamente intrinseci şi extrinseci ale acestor articulaţii. La nivelul sacrului forţele se descompun în forţe care acţionează în lungul sacrului şi în forţe care acţionează pe toată grosimea lui antero-posterioară.

Forţele de greutate se transmit prin coloana vertebrală direct sacrului şi prin acesta articulaţiilor sacro-iliace, oaselor coxale, articulaţiilor coxo-femurale şi extremităţilor superioare ale femurelor (fig. 171). Trabeculele osoase se orientează conform direcţiilor de acţiune a acestor forţe. La nivelul iliacului s-au dezvoltat două sisteme trabeculare, unul superior (fig. 171, 3) şi unul inferior (fig. 171, 1) şi două zone de condensare marginale (fig. 171, 2). *Sistemul trabecular superior* porneşte de la creasta iliacă şi se îndreaptă spre porţiunea superioară a cavităţii cotiloidiene. *Sistemul trabecular inferior*, orientat invers, se îndreaptă de la creasta iliacă spre porţiunea medială a cavităţii cotiloidiene. Ambele sisteme realizează între ele dispoziţii ogivale, care conferă osului o mare rezistenţă. La capetele inferioare, ambele sisteme întretaie *fasciculul arciform cotiloidian* (fig. 171, 6), pe care se sprijină ca pe o bază. De la nivelul cavităţii cotiloidiene, forţele sînt preluate de sistemele trabeculare ale extremităţii superioare a femurului. La nivelul ischionului, de la zona de condensare interioară, care corespunde liniei nenumite, se îndreaptă în jos, *fasciculul ischiatic*

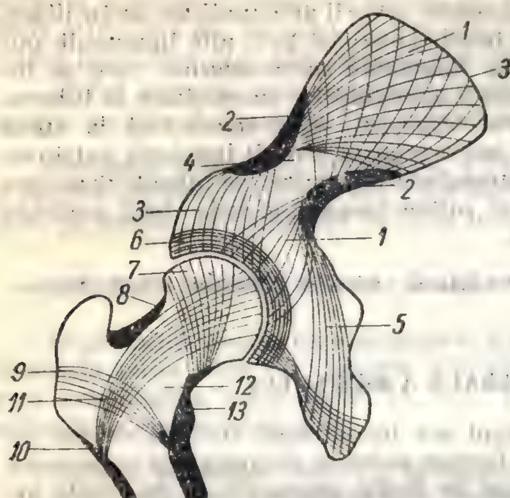


Fig. 171 — Arhitecturarea funcţională a trabeculelor osoase ale coxalului şi ale extremităţii superioare a femurului :
1 — sistemul trabecular inferior al coxalului, 2 — zone de condensare, 3 — sistemul trabecular superior al coxalului, 4 — zona neutră, 5 — fascicul ischiatic, 6 — fascicul arciform cotiloidian, 7 — fascicul cefalic al femurului, 8 — cheie de boltă Delbet-Basset, 9 — fascicul trohanterian, 10 — fascicul arcuat, 11 — sistem arciform, 12 — triunghiul lui Ward, 13 — arcul lui Adams.

(fig. 171, 5) care se răspîndeşte în toată tuberozitatea ischiatică. El s-a format ca o necesitate funcţională impusă de poziţia şezînd.

BIOMECANICA BAZINULUI

În mod normal, la omul adult, oasele coxale se mişcă concomitent cu sacrul şi, practic, bazinul poate fi considerat ca un întreg rigid. În realitate însă, chiar în aceste condiţii, se produc unele mişcări minime la nivelul articulaţiilor sacro-iliace. Aceste mişcări sînt mai accentuate la tineri.

Mişcările articulaţiilor sacro-iliace constau într-o serie de mişcări de basculă ale sacrului, în jurul unei axe transversale care trece prin partea superioară a osului. Aceste mişcări denumite de nutaţie şi contranutaţie vor fi, deci, mai puţin ample la nivelul bazei sacrului, dar destul de ample la nivelul vîrfului lui.

a) *Mişcarea de nutaţie* este aceea prin care baza sacrului se îndreaptă în jos şi înainte, în timp ce vîrful lui se îndreaptă în sus şi înapoi. Prin această mişcare strîmtoarea superioară se micşorează, dar sacrul, deplasîndu-se şi înfundîndu-se ca un ic între cele două oase coxale, contribuie prin această mişcare la mărirea strîmtorii inferioare a bazinului.

Cînd se trece de la poziţia culcat la poziţia în picioare, sacrul este apăsat de coloana vertebrală şi baza lui coboară cu cîţiva milimetri (*Schubert, Weisl*).

b) *Mişcarea de contranutaţie* este mişcarea prin care baza sacrului se îndreaptă în sus şi înapoi, în timp ce vîrful lui se îndreaptă în jos şi înainte. Prin această mişcare se măreşte strîmtoarea superioară în timp ce strîmtoarea inferioară se micşorează. Ea se produce astfel în poziţia culcat sau cînd se execută mişcarea de hiperextensie a trunchiului.

În condiţii fiziologice deosebite, ca în timpul naşterii, aparatele capsulo-ligamentare ale tuturor articulaţiilor corpului se îmbibă cu lichid interstiţial şi se relaxează. Relaxarea aparatelor capsulo-ligamentare la femeia gravidă se datoreşte unui hormon de tip special, denumit *relaxina*.

Relaxarea aparatelor capsulo-ligamentare se soldează cu efecte imediate, în special la nivelul coloanei vertebrale şi bazinului. La nivelul coloanei pot apare rahialgiile (durerile vertebrale) gravidelor şi nu rare ori chiar hernii de disc. La nivelul bazinului relaxarea capsulo-ligamentară are ca rezultat mărirea amplitudinii mişcărilor articulaţiilor sacro-iliace şi simfizei pubiene, ceea ce uşurează desfăşurarea normală a naşterii.

ŞOLDUL

Centura pelvină se continuă cu membrul inferior, prin intermediul şoldului care reprezintă segmentul intermediar plasat între importanta masă a trunchiului şi masa membrului inferior. Şoldul este astfel structurat, încît să permită membrului inferior îndeplinirea celor două funcţii contradictorii : *oscilaţia* în faza de pendulare şi *stabilizarea* în faza de propulsie a mersului, alergării sau săriturii.

SCHELETUL ŞOLDULUI

La alcătuirea articulaţiei şoldului participă două segmente osoase : osul coxal şi femurul.

Osul coxal a fost descris la oasele bazinului.

Femurul. Os lung, pereche şi nesimetric, femurul alcătuieşte scheletul coapsei. Prezintă o extremitate superioară, un corp şi o extremitate inferioară (fig. 172).

Extremitatea superioară a femurului este formată de *un cap articular, un gît, o mare tuberozitate* şi *o mică tuberozitate*. Cele două tuberozităţi sînt foarte voluminoase, deoarece pe ele se inseră muşchi puternici. Dimensiunile acestor tuberozităţi indică de la început mărimea forţelor care acţionează asupra şoldului.

Capul articular prezintă 2/3 dintr-o sferă, este perfect rotunjit şi orientat în sus, înainte şi înăuntru. Puţin sub centrul lui se găseşte *foseta ligamentului rotund*.

Gîtul femurului uneşte capul cu cele două extremităţi. Axa lungă a gîtului este înclinată faţă de axa lungă a corpului femurului cu 125—135°, unghiul format de ele luînd numele de *unghi de înclinaţie* (fig. 173). Datorită faptului că este orientat nu numai de jos în sus, ci şi dinapoi înainte, axa lungă a gîtului face cu planul frontal un unghi de 15—25°, denumit *unghiul de declinaţie*.

Lungimea gîtului femural (cel mai lung gît al oaselor corpului omenesc) este în raport tot cu mărimea forţelor care activează asupra şoldului. Lărgirea bazinului, o caracteristică strictă a staţiunii bipede, a atras o depărtare a celor două tuberozităţi de capul femural, mărindu-se astfel concomitent braţul de pîrghie şi forţa de acţiune. Un gît mai scurt, pentru a acţiona ca pîrghie cu o aceeaşi forţă, ar fi necesitat o forţă musculară mult mai mare.

Marea tuberozitate sau marele trohanter este o proeminență patrulateră, care continuă în sus corpul osului. Pe fața externă prezintă o creastă pentru inserția *fesierului mijlociu*, iar pe fața internă — o cavitate pentru inserția *obturatorului extern*, a *obturatorului intern* și a celor *2 gemeni*. Pe marginea superioară se inseră *piramidalul*, pe marginea infe-

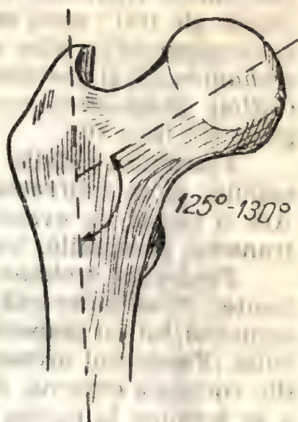


Fig. 173 — Unghiul de înclinație cefalo-cervico-diafizar.

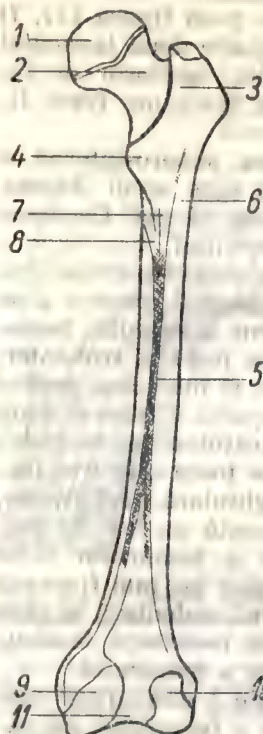


Fig. 172 — Femurul văzut din spate :

1 — cap femural, 2 — gît femural, 3 — mare trohanter, 4 — mic trohanter, 5 — linia aspră, 6 — creasta externă a liniei aspre, 7 — creasta mijlocie a liniei aspre, 8 — creasta internă a liniei aspre, 9 — condil intern, 10 — condil extern, 11 — scobitură inter-condiliană.

rioară — *vastul extern*, pe marginea anterioară — *fesierul mic* și pe marginea posterioară — *pătratul femural*.

Mica tuberozitate, sau micul trohanter, este situată la partea postero-inferioară a gîtului și dă inserție *psoas-iliacului*.

Extremitatea superioară a femurului prezintă, ca și osul coxal, o arhitectură interioară a sistemelor trabeculare care demonstrează cu prisosință relația dintre formă și funcții. Studiată pe o secțiune frontală, ea ne prezintă o dispoziție caracteristică (vezi figura 171). Fasciculele trabeculare pornesc

din cele două puncte extreme, capul şi marele trohanter şi se îndreaptă spre cele două lame corticale ale corpului femural. Lama corticală internă este mai bine dezvoltată şi se continuă, sub col, cu *arcul lui Adams* (vezi figura 171, 13).

Cum asupra extremităţii superioare a femurului se exercită eforturi de presiune şi de tracţiune deosebit de puternice, fasciculele trabeculare sînt bine individualizate. Ele sînt în număr de trei : unul este *fasciculul cefalic* (vezi figura 171, 7) şi corespunde forţelor de presiune, iar celelalte două *fasciculul trohanterian* şi *fasciculul arcuat* (fasciculul arciform al lui *Gallois Bosquette*), corespund forţelor de tracţiune (vezi figura 171, 9 şi 10).

Fasciculul cefalic porneşte din partea supero-internă a capului şi se îndreaptă în jos şi în afară spre arcul *Adams*. Are o formă de evantai desfăşurat cu baza în sus. Deoarece transmit presiunile, trabeculele lui sînt rectilinii.

Fasciculul trohanterian porneşte de la corpul marelui trohanter şi se îndreaptă arcuit în jos şi înăuntru, pentru a se continua tot cu trabeculele corticalei interne a corpului femurului. Fasciculul arcuat porneşte de la baza marelui trohanter, din corticala externă, şi se îndreaptă în sus şi înăuntru, pentru a se termina la partea infero-internă a capului. Ultimele două fascicule se întretaie între ele la 90° şi alcătuiesc un veritabil *sistem arciform* (vezi figura 171, 11). Între toate cele trei fascicule, la baza colului, apare o zonă triunghiulară, fără travee, denumită *triunghiul lui Ward* şi reprezintă un loc de minimă rezistenţă a extremităţii superioare a femurului (vezi figura 171, 12). Este nivelul la care se produc cel mai frecvent fracturile de gît femural, mai ales la bătrîni, sedentari, la care procesele de resorbţie osoasă au diminuat rezistenţa fasciculelor trabeculare ale extremităţii superioare a femurului.

Reproducerea în condiţii experimentale a eforturilor care se exercită asupra extremităţii superioare a femurului, de către *I. Sgarbură*, a confirmat strînsa corelaţie dintre direcţia acestor forţe şi structurarea sistemelor trabeculare osoase. Partea cotiloidiană a coxalului ca şi extremitatea superioară a femurului se realizează în mărime naturală, dintr-un material plastic de tipul araldituluí, omogen şi fără defecte de fabricaţie. Se interpune între cele două piese un tub de cauciuc care joacă rolul cartilajului articular $\left(\frac{\text{E araldit}}{\text{E tub}} = 1\,000-1\,166\right)$ şi se apasă asupra întregului sistem cu o forţă de 90 kg, ceea ce revine la 18,2 kg pe cm^2 al suprafeţelor în contact.

Dinamica structurării și orientării sistemelor trabeculare poate fi urmărită cu ajutorul fotoelasticității (fig. 174). Rezultatele sînt superpozabile celor obținute în condiții biologice.

Corpul femurului este îndreptat oblic de sus în jos și dinafară înăuntru. Axa lui lungă ia numele de *axa anatomică* și nu trebuie confundată cu *axa biomecanică*, ce pleacă de la

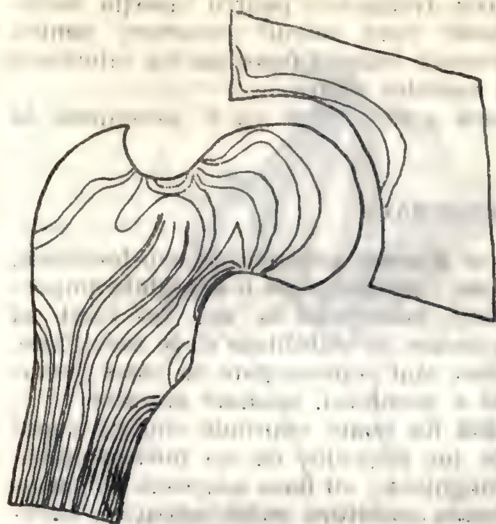


Fig. 174 — Model fotoelastic al unei articulații coxo-femurale experimentale reprodusă în mărime naturală din araldit. Cartilajul articular este înlocuit cu un tub de cauciuc. P=90 kg. Izocromate=7 C (constanta fotoelastică)=18,3 kg/cm² (după I. Sgarbură).

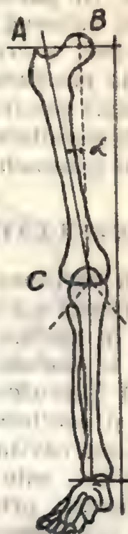


Fig. 175 — Raporturile dintre axa anatomică AC și axa biomecanică BC ale femurului. Cele două axe fac între ele un unghi alfa de 10° deschis în sus.

centrul capului femural și se întîlnește cu axa anatomică în partea centrală a extremității inferioare a femurului. Cele două axe fac între ele un unghi de 8—10°, deschis în sus (fig. 175).

Corpul femural are o formă prismatic-triunghiulară și prezintă trei fețe — anterioară, internă și externă și trei margini — posterioară, internă și externă.

Pe fața anterioară se inseră superior *mușchiul crural* (partea profundă a cvadricepsului) și inferior *mușchiul tensor*

al sinovialei genunchiului. Pe fața externă se inseră *vastul extern* al cvadricepsului, iar pe fața internă — *vastul intern* al cvadricepsului.

Marginea posterioară este foarte dezvoltată și se numește *linia aspră.* Pe buza ei externă se inseră *vastul extern,* pe buza internă — *vastul intern,* iar în lungul zonei ei mijlocii, *cei 3 adductori* ai coapsei și *scurta porțiune a bicepsului femural.* În partea superioară, linia aspră se trifurcă într-o *creastă externă* (spre marele trohanter) pentru inserția *marelui fesier,* o *creastă mijlocie* (spre micul trohanter) pentru inserția *pectineului* și o *creastă internă* (spre partea inferioară a gîtului) pentru inserția *vastului intern.*

Extremitatea inferioară a femurului va fi prezentată la studiul genunchiului.

ARTICULAȚIA COXO-FEMURALĂ

În regiunea șoldului se găsește articulația coxo-femurală, o enartroză cu trei grade de libertate și de o deosebită importanță în statică și locomoție, construită în așa fel încît să ofere, în același timp, maximum de stabilitate și de mobilitate.

a) *Suprafețele articulare* sînt reprezentate de *capul femurului* și *cavitatea cotiloidă a coxalului,* studiate anterior.

Cum cavitatea cotiloidă nu poate cuprinde singură capul femurului, este mărită de jur împrejur de un *burelet fibrocartilaginos,* prismatic-triunghiular, cu baza aderentă de sprînceana cotiloidă. Trecînd peste scobitura pubo-ischiatică, bureletul cotiloidian formează *ligamentul transvers,* sub care se găsește un orificiu umplut cu țesut celulo-grăsos și cîteva arteriole și venule pentru ligamentul rotund și osul coxal.

b) Cele două suprafețe articulare sînt menținute în contact prin bureletul glenoidian și capsulă. Prin marginea lui externă liberă, bureletul glenoidian strînge capul ca un inel. Capsula fibroasă are forma unui sac conoid, cu baza cotiloidiană. Inserția cotiloidiană se face pe fața externă a bureletului și periferia sprîncenei. Inserția pe col se face anterior pe linia intertrohanteriană, iar posterior la un lat de deget înăuntrul crestei intertrohanteriene posterioare. Capsula puternică și rezistentă este formată din două feluri de fibre: unele superficiale, longitudinale și altele profunde, circulare. Fibrele se grupează, formînd ligamentele.

Ligamentele articulare au rol de întărire a capsulei, asigurînd soliditatea extremităților inferioare în

timpul staţiunii verticale, în timpul mersului, alergării şi săriturii (fig. 176).

În legătură cu rezistenţa la tracţiune a ligamentelor şoldului, *Hahn* în cartea sa de popularizare a medicinei dă următorul exemplu rămas în istorie : „Cînd regicidul *ravaillac* l-a înjunghiat pe Henric al IV-lea la Paris, cu ocazia celebrării

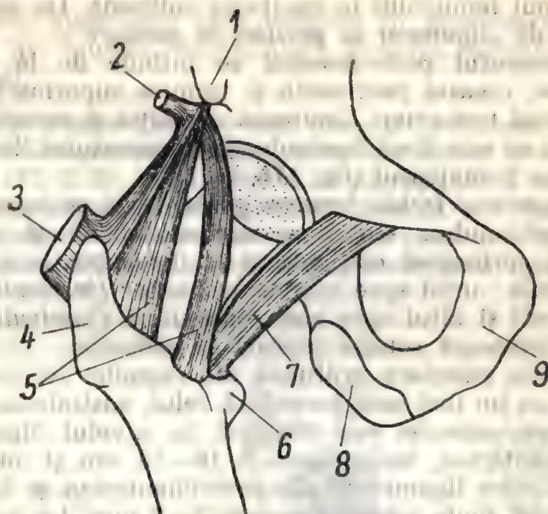


Fig. 176 — **Articulaţia coxo-femurală văzută din faţă :**

1 — spina iliacă antero-inferioară, 2 — tendonul secţionat al dreptului anterior al cvadricepsului, 3 — tendonul secţionat al fesierului mijlociu, 4 — trohanter mare, 5 — ligamentul *Bertin-Bigelow* cu cele două fascicule, 6 — trohanter mic, 7 — ligament pubo-femural, 8 — tuberozitate ischiatică, 9 — pubis.

căsătoriei, el a fost torturat şi în ultimele clipe ale vieţii a fost legat de patru cai, cu scopul de a fi rupt în patru. Şoldurile au rezistat însă şi membrele inferioare nu au putut fi despărţite de trunchi, decît cu ajutorul topoarelor".

Fibrele superficiale ale capsulei formează următoarele ligamente :

1. *Ligamentul ilio-femural al lui Bertin-Bigelow* (fig. 176, 5) are forma unui evantai cu vîrful sub spina iliacă antero-inferioară, cu baza pe linia intertrohanterială anterioară. Prezintă două fascicule : unul *ilio-pretrohanterian*, care limi-

tează extensia și abducția și altul *ilio-pretrohantinian*, care limitează extensia. Este deosebit de puternic și rezistă la o tracțiune de 350—600 kg.

Ligamentul ilio-femural joacă un rol deosebit în menținerea poziției ortostatice, opunîndu-se căderii corpului înapoi. În această poziție șoldul se extinde și cele două fascicule ale ligamentului, puse sub tensiune, strangulează gîtul femural, apăsînd capul femurului în cavitatea cotiloidă. De aici vine și denumirea de *„ligament al poziției în picioare"*.

2. *Ligamentul pubo-femural* se întinde de la eminența ilio-pectinee, creasta pectineală și ramura superioară a pubisului la micul trohanter. Limitează abducția și rotația externă și împreună cu cele două fascicule ale ligamentului ilio-femural formează un N majuscul (fig. 176, 7).

3. *Ligamentul ischio-femural* pornește de pe ramura superioară a ischionului, scobitura subcotiloidiană și porțiunea ischiatică a sprîncenei cotiloide și se îndreaptă în afară prin două fascicule : unul spre marele trohanter *(fasciculul ischio-supracervical)* și altul spre zona orbiculară *(fasciculul ischio-zonular)*. Limitează rotația internă și adducția.

4. Fibrele circulare profunde ale capsulei formează *zona orbiculară*, ca un inel care înconjură colul, susținîndu-l.

Grosimea capsulei este maximă la nivelul ligamentului ilio-pretrohanterian, unde măsoară 10—13 cm și minimă în porțiunea dintre ligamentul ilio-pretrohanterian și ligamentul pubo-femural, unde măsoară numai 2—3 mm. La acest nivel, între capsulă și mușchiul psoas-iliac se găsește o bursă care comunică uneori cu sinoviala.

5. Ligamentul rotund este intraarticular și se întinde din partea antero-superioară a fosetei capului spre ligamentul transvers al cadrului cotiloidian și regiunile de cadru învecinate ; conține vase importante în timpul perioadei de osteogeneză, vase care se obliterează cu vîrsta. Ligamentul rotund are un rol cu totul secundar în biomecanica șoldului.

Presiunea atmosferică joacă un rol deosebit în menținerea suprafețelor articulare. Cum suprafața articulației coxo-femurale măsoară 16 cm² și reprezintă un spațiu virtual, asupra ei acționează o presiune atmosferică de 16,537 kg. Calculul se face, după cum știm, astfel : 16 (suprafața) × 76 (presiunea barometrică) × 13,6 (densitatea mercurului) = 16,537 kg. Cum greutatea unui membru inferior este de 9—10 kg, presiunea atmosferică, singură, poate menține capul în cavitate chiar după secțiunea tuturor părților moi.

Sinoviala tapetează fața interioară a capsulei, reflectîndu-se pe porțiunea intraarticulară a colului și pe fața externă a cadrului cotiloidian. Este ridicată de plicele capsulare și prezintă un singur fund de sac, sub ligamentul ischio-femural.

MUȘCHII ȘOLDULUI

Grupele musculare care intervin în mobilizarea șoldului se împart în : mușchii lombo-iliaci, mușchii bazinului și mușchii coapsei.

Mușchii lombo-iliaci au fost descriși la coloana vertebrală și dintre ei asupra șoldului nu intervine direct decît *psoasul-iliac* (fig. 177, C 3). Acest mușchi se suprapune ca direcție axei biomecanice a membrului inferior. Inserția lui vertebrală pe primele vertebre lombare se suprapune centrului de greutate, apoi se îndreaptă în afară și în jos, trece prin fața centrului

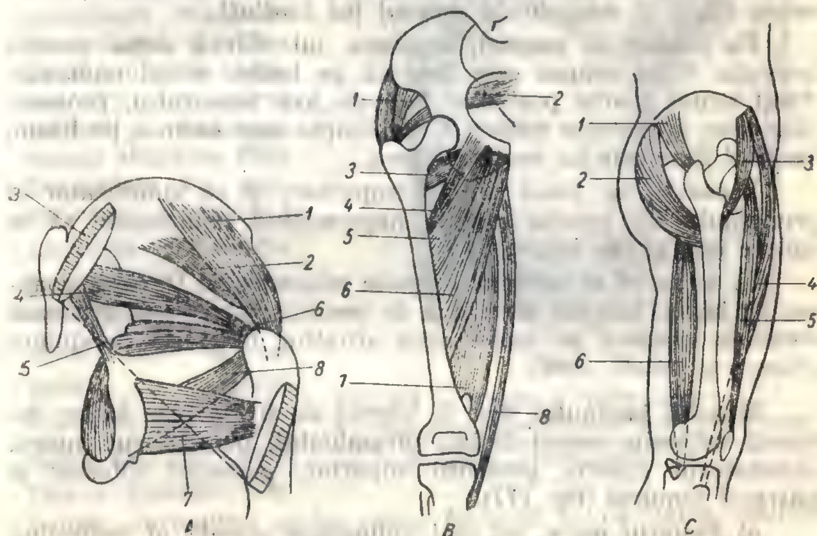


Fig. 177 — Mușchii motori ai șoldului.

A. Vedere din spate : 1 — fesier mijlociu, 2 — fesier mic, 3 — fesier mare (secționat), 4 — piramidal, 5 — ligament sacro-sciatic, 6 — obturator intern și gemeni, 7 — pătrat femural, 8 — obturator extern.
B. Vedere din față : 1 — fesier mic și mijlociu, 2 — piramidal, 3 — pătrat femural, 4 — pectineu, 5 — adductor mic, 6 — adductor mijlociu, 7 — adductor mare, 8 — drept intern.
C. Vedere din profil : 1 — fesier mijlociu, 2 — fesier mare, 3 — psoas, 4 — croitor, 5 — drept anterior, 6 — ischio-gambieri.

geometric al capului femural, se unghiulează înapoi, formînd un unghi deschis înapoi de aproximativ 40° și se inseră pe micul trohanter. El realizează astfel o puternică chingă anterioară, care împinge capul femural dinainte înapoi și reprezintă astfel principalul *stabilizator anterior* al șoldului. Dacă direcția lui se continuă fictiv în jos, proiecția atinge spațiul intercondilian.

Datorită cudurii posterioare pe care o prezintă, și posibilității pe care o are de a lua drept hipomochlion capul femural, acțiunea lui este complexă. Cînd ia punct fix pe coloană și pe bazin este un flexor al coapsei, cu o componentă de rotație instabilă.

Ca flexor al coapsei pe bazin, psoasul-iliac intervine în special după ce coapsa depășește amplitudinea de flexie de 90°. De aceea, valoarea lui funcțională se determină așezînd subiectul pe un scaun și punîndu-l să facă flexia coapsei pe bazin. Dacă nu poate face flexia coapsei dincolo de cele 90°, mușchiul este deficitar. În smulgerile micului trohanter acest semn clinic ia numele de *semnul lui Ludloff*.

Ca rotator al coapsei, acțiunea lui diferă după poziția acesteia. Cînd coapsa este flectată pe bazin, micul trohanter fiind situat foarte posterior față de axa femurului, psoasul-iliac este un rotator extern. Cînd coapsa este extinsă pe bazin, psoasul iliac este un rotator intern.

Psoasul-iliac joacă un rol important și ca stabilizator al trunchiului în poziția șezînd, nepermițînd trunchiului să se aplece lateral sau înapoi.

În mers, el efectuează izotonic mișcarea de flexie a coapsei pe bazin, inițiînd deci faza de pendulare și tot el gradează extensia coapsei pe bazin spre sfîrșitul fazei de pendulare (*Keàgy* și colab. 1966).

Mușchii bazinului sînt în număr de 9 : marele fesier, fesierul mijlociu, micul fesier, piramidalul, obturatorul intern, obturatorul extern, gemenul superior, gemenul inferior și pătratul femural (fig. 177).

a) *Fesierul mare*, cel mai voluminos mușchi al bazinului, se inseră proximal pe porțiunea posterioară a fosei iliace externe, se îndreaptă oblic în jos și în afară și se inseră distal pe creasta externă a trifurcației superioare a liniei aspre, imediat sub marele trohanter (fig. 177, C 2), (fig. 178). Cînd ia punct fix pe bazin, este un rotator în afară al coapsei. De asemenea, este un stabilizator al poziției de hiperextensie. In-

tervine în mişcarea de extensie atunci cînd individul poartă greutăţi sau urcă pe un plan înclinat.

b) *Fesierul mijlociu* are o formă triunghiulară şi, prin baza lui, se inseră proximal pe porţiunea mijlocie a fosei iliace mijlocii, se îndreaptă vertical în jos, şi, prin vîrful lui, se inseră distal pe faţa externă a marii tuberozităţi (fig. 177, A 1).

Cînd se contractă în totalitate şi ia punct fix pe bazin, este un abductor şi un rotator în afară al coapsei, iar cînd ia punct fix pe femur, înclină lateral bazinul. El se poate contracta însă şi izolat. Prin fasciculele lui anterioare realizează abducţia şi rotaţia înăuntru a coapsei. Prin fasciculele mijlocii realizează numai abducţia. Prin fasciculele lui posterioare realizează abducţia şi rotaţia în afară a coapsei.

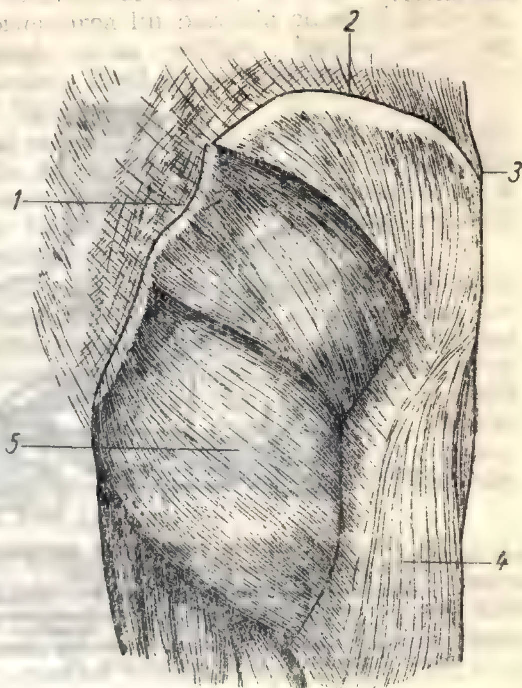


Fig. 178 — Muşchiul fesier mare:
1 — spina iliacă postero-superioară, 2 — creasta iliacă, 3 — spina iliacă antero-superioară, 4 — tensor fascie lata, 5 — fesier mare.

Datorită dispoziţiei lui, ca un echer cu unghiul înăuntru (fig. 179,7), apasă pe faţa laterală a marelui trohanter, înfundînd astfel capul femural în cavitatea cotiloidă şi este principalul *stabilizator lateral* al şoldului.

c) *Fesierul mic* are tot o formă triunghiulară. Prin baza lui se inseră proximal pe porţiunea anterioară a fosei iliace externe, se îndreaptă aproape orizontal în afară şi, prin vîrful lui, se inseră distal pe marginea anterioară a marelui trohanter (vezi figura 177, A 2).

24 — Anatomia funcţională şi biomecanica aparatului locomotor — cd. 271

Cînd ia punct fix pe bazin, este un rotator înăuntru și un adductor al coapsei, cînd ia punct fix pe femur, este un proiector înainte al hemibazinului de partea opusă.

d) *Gemenul superior* se inseră medial pe spina sciatică, se îndreaptă în afară, se unește cu tendonul gemenului inferior și se inseră lateral pe cavitatea de pe fața internă a marelui trohanter.

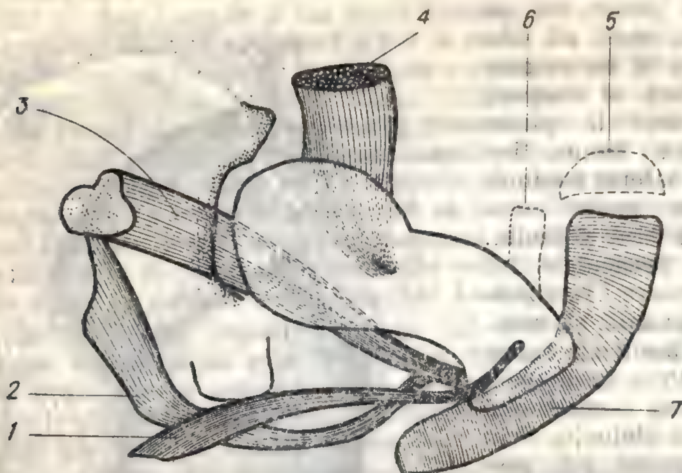


Fig. 179 — Chingile musculare stabilizatoare ale șoldului (văzute pe o secțiune transversală) :

1 — piramidal, 2 — obturator intern, 3 — obturator extern, 4 — psoas-iliac, 5 — tensor fascie lata, 6 — m. fesier mic, 7 — m. fesier mijlociu. De remarcat forma în echer a fesierului mijlociu (7) care este stabilizatorul lateral principal și direcția celor doi stabilizatori posteriori, piramidalul (1) și obturatorul (2).

Este un rotator în afară al coapsei (vezi figura 177, A 6).

e) *Gemenul inferior* se inseră medial pe tuberozitatea ischionului, se îndreaptă în afară și se unește cu tendonul gemenului extern (vezi figura 177, A 6). Este un rotator în afară al coapsei.

f) *Obturatorul intern* se inseră medial pe fața internă a membranei obturatoare, care umple gaura obturatoare a osului coxal, și pe conturul ei osos, trece apoi prin mica scobitură sciatică a marginii posterioare a coxalului, iese din micul bazin, se îndreaptă în afară și se inseră lateral pe cavitatea de pe fața internă a marelui trohanter (vezi figura 177, A 6).

Este, ca și cei 2 gemeni, un rotator în afară al coapsei și în plus un *stabilizator posterior* al șoldului (vezi figura 179, 2).

g) *Obturatorul extern* se inseră medial pe fața externă a membranei obturătoare și pe conturul ei osos, trece prin spatele articulației coxo-femurale și se inseră lateral pe cavitatea de pe fața internă a marelui trohanter (vezi figura 177, A 8). Este, ca și gemenii și obturatorul intern, tot un rotator în afară al coapsei. Prin orientarea lui paralelă cu colul femural, sub care se găsește situat, ca un veritabil hamac, este un veritabil coaptator articular, fiind principalul *stabilizator inferior* al șoldului (vezi figura 179, 3).

h) *Pătratul femural* se inseră medial pe tuberozitatea ischiatică, se îndreaptă în afară, trece prin spatele articulației coxo-femurale și se inseră lateral pe marginea posterioară a marelui trohanter (vezi figura 177, A 7). Este, ca și gemenii și obturatorii, tot un rotator în afară al coapsei.

i) *Piramidalul* (pisiformul) se inseră medial pe fața anterioară a sacrului, în jurul găurilor sacrate anterioare, se îndreaptă în afară, iese din bazin prin marea scobitură sciatică și se inseră lateral pe marginea superioară a marelui trohanter (vezi figura 177, A 4). Cînd ia punct fix pe bazin, rotează coapsa în afară, fiind un sinergist al gemenilor și al obturatorilor. Dacă coapsa este flectată, este un abductor al acesteia. În plus, ca și obturatorul intern, este un *stabilizator posterior* al șoldului (vezi figura 179, 1).

Mușchii coapsei, în număr de 12, se îndreaptă vertical de la bazin la coapsă, iar unii din ei la extremitățile superioare ale oaselor gambei. În regiunea antero-externă a coapsei sînt 4 mușchi : tensorul fasciei lata, croitorul, tensorul sinovialei genunchiului și cvadricepsului femural (vezi figura 177, C 4 și 5).

Restul de 8 mușchi se găsesc în regiunile posterioară și cea internă ale coapsei : dreptul intern, pectineul, adductorul mare, adductorul mijlociu, adductorul mic, semitendinosul, semimembranosul și bicepsul femural (vezi figura 177, B 4, 5, 6, 7 și 8).

a) *Dreptul intern* (vezi figura 177, B 8) este foarte subțire, se inseră proximal pe unghiul pubisului și distal, prin intermediul formațiunii aponevrotice denumite laba de gîscă, pe partea superioară a feței interne a tibiei. Vom vedea că la alcătuirea labei de gîscă mai iau parte și tendoanele distale

ale semitendinosului și croitorului. Deci, acești 3 mușchi au o inserție distală comună (fig. 180). Este flexor și adductor al coapsei.

b) *Pectineul* se inseră proximal pe spina pubisului, se îndreaptă oblic în jos și în afară și se inseră distal pe creasta mijlocie a trifurcației superioare a liniei aspre (vezi figura 177, B 4). Este flexor, adductor și rotator în afară al coapsei.

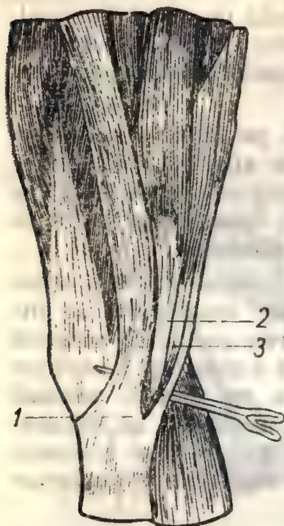


Fig. 180 — Laba de gîscă și mușchii care o formează :

1 — croitor, 2 — drept intern, 3 — semitendinos.

c) *Adductorul mare* se inseră proximal pe ramura ischio-pubiană și tuberozitatea ischiatică a coxalului, iar distal pe tuberculul supero-intern al condilului intern al extremității inferioare a femurului (vezi figura 177, B 7). Este adductor al coapsei.

d) *Adductorul mijlociu* se inseră proximal pe unghiul pubisului, se îndreaptă în afară și în jos și se inseră distal pe zona mijlocie a liniei aspre a femurului (vezi figura 177, B 6). Este adductor al coapsei.

e) *Adductorul mic* se inseră proximal pe unghiul pubisului și distal pe creasta internă a trifurcației superioare a liniei aspre (vezi figura 177, B 5). Este adductor al coapsei.

Toți cei 3 adductori au o direcție aproximativ oblică în afară și în jos și sînt paraleli ca direcție cu psoasul-iliac. Prin direcția lor verticală ei devin ajutători ai psoasului în rolul acestuia de a impacta capul femural în cavitatea cotiloidă.

În afara rolului de adductori, toți cei 3 adductori și mai ales adductorul mijlociu, mai au și rol de flexori ai coapsei. În sprijinul uniped, ei acționează ca stabilizatori ai bazinului în plan antero-posterior, nelăsînd bazinul să se încline înapoi.

f) *Semitendinosul* se inseră proximal pe tuberozitatea ischionului, împreună cu lunga porțiune a bicepsului femural și distal, prin intermediul labei de gîscă, pe partea superioară a feței interne a tibiei (vezi figura 177, C 6).

Cînd ia punct fix pe bazin, este flexor și rotator înăuntru al gambei pe coapsă și extensor al coapsei pe bazin. Cînd ia

punct fix pe gambă, este extensor al bazinului pe coapsă şi flexor al coapsei pe gambă pînă la 10°, după care devine extensor.

g) *Semimembranosul* se inseră proximal pe faţa posterioară a tuberozităţii ischiatice şi distal pe cei doi condili tibiali (vezi figura 177, C 6). Are aceeaşi acţiune ca şi semitendinosul.

h) *Bicepsul femural* se inseră proximal prin două capete, care iau denumirea de lunga porţiune şi scurta porţiune. Lunga porţiune se inseră pe tuberozitatea ischiatică, împreună cu semitendinosul. Scurta porţiune se inseră pe baza externă a liniei aspre a femurului. Cele două porţiuni se unesc şi se inseră distal, printr-un tendon comun, pe capul peroneului.

Cînd ia punct fix la nivelul inserţiilor lui proximale, bicepsul femural este un flexor al gambei pe coapsă şi extensor al coapsei pe bazin. Cînd ia punct fix la nivelul inserţiilor lui distale pe gambă, devine extensor al bazinului pe coapsă şi flexor al coapsei pe gambă pînă la 10°, după care devine extensor.

Semitendinosul, semimembranosul şi bicepsul femural, plasaţi topografic pe faţa posterioară a coapsei, alcătuiesc grupul *muşchilor ischio-gambieri*. Aceşti muşchi biarticulari au o deosebită importanţă în statică, mers, alergare şi săritură. Ei extind coapsa pe bazin şi au asupra gambei o acţiune caracteristică, fiind flexori ai gambei pe coapsă de la 10° la 155° şi devin extensori ai gambei pe coapsă pe amplitudinea dintre 0°—10°. Modificarea de acţiune se datoreşte intervenţiei hipomochlioanelor reprezentate de condilii femurali (extern şi intern).

Ultimul subgrup al muşchilor coapsei este reprezentat de muşchii anteriori şi anume de : tensorul fasciei lata, croitorul, cvadricepsul şi muşchiul tensor al sinovialei genunchiului.

i) *Tensorul fasciei lata* este cel mai superficial muşchi din regiunea antero-externă a coapsei (fig. 181, 6). Se inseră proximal pe spina iliacă antero-superioară şi pe buza externă a treimii anterioare a crestei iliace ; are un corp muscular aplatizat, care se întinde pe treimea superioară a coapsei, se continuă cu un tendon lat şi se inseră distal pe tuberozitatea externă a extremităţii superioare a tibiei.

În porţiunea lui externă muşchiul, în totalitatea lui, se uneşte strîns cu aponevroza coapsei şi formează o bandă longitudinală, foarte rezistentă, lată de 4—6 cm, denumită ligamentul ilio-tibial sau *bandeleta lui Maissiat*.

Tensorul fasciei lata este rotator în afară al coapsei. El are un rol deosebit de important în statică, în special în sprijinul unilateral și în mers. În momentul sprijinului, mușchiul contribuie la realizarea unui veritabil pilon de sprijin, blocînd bazinul, coapsa și gamba în poziție funcțională. Prin contracția lui înclină bazinul pe partea membrului de sprijin, pune sub tensiune aponevroza femurală și extinde gamba pe coapsă.

j) *Croitorul* este cel mai superficial mușchi al regiunii antero-interne a coapsei (fig. 181, 4). Are forma unui cordon și se întinde diagonal de sus în jos și din afară-înăuntru. Se inseră proximal pe spina iliacă antero-superioară și distal pe tuberozitatea internă a extremității superioare a tibiei, prin intermediul labei de gîscă (la formarea căreia participă împreună cu tendoanele distale ale dreptului intern și semitendinosului) (vezi figura 180).

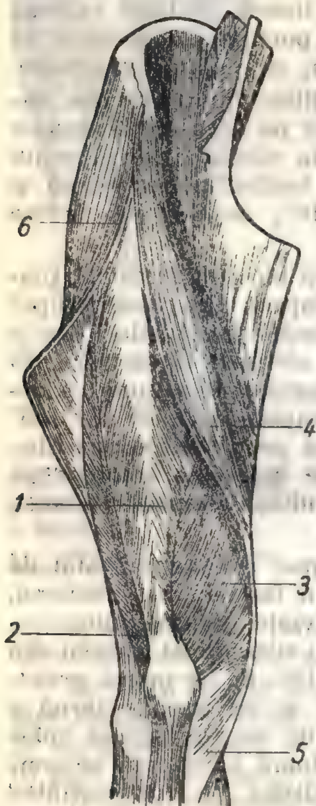


Fig. 181 — Mușchii anteriori ai coapsei :

1 — drept anterior, 2 — vast extern, 3 — vast intern, 4 — croitor, 5 — laba de gîscă, 6 — tensor fascia lata.

Este flexor al gambei pe coapsă și flexor, adductor și rotator în afară al coapsei pe bazin, realizînd astfel poziția de lucru a vechilor croitori, de unde și numele mușchiului.

k) *Cvadricepsul*, un mușchi larg, care ocupă toată partea anterioară a coapsei (fig. 181), este alcătuit din 4 fascicule musculare : *dreptul femural, vastul lateral, vastul medial* și *femuralul (cruralul).*

Inserțiile proximale ale acestor 4 porțiuni sînt diferite. Dreptul anterior se inseră pe bazin prin două tendoane : unul *direct* pe spina iliacă antero-inferioară și unul *reflectat* pe sprînceana cotiloidă. Celelalte trei porțiuni se inseră pe femur. Vastul lateral se inseră pe marginea inferioară a marelui trohanter și pe buza externă a liniei aspre. Vastul medial se inseră pe buza internă a liniei aspre. Femu-

ralul, situat între cei doi vaşti, se inseră pe partea inferioară a liniei aspre şi pe feţele anterioară şi externă ale corpului femural.

Cele patru porţiuni ale cvadricepsului se unesc între ele şi formează *tendonul cvadricipital*, care înglobează rotula şi de la aceasta în jos se continuă cu *tendonul rotulian*, care se inseră distal pe tuberozitatea anterioară a tibiei.

Cvadricepsul este un extensor al gambei pe coapsă şi accesoriu, prin dreptul anterior, este un flexor al coapsei pe bazin.

Valoarea funcţională a diferitelor părţi componente ale cvadricepsului a fost relativ recent stabilită. *Smillie* (1949) consideră că vastul medial este *„cheia genunchiului"* şi că el singur ar realiza extensia activă a gambei pe coapsă, pe ultimele ei grade de amplitudine. Bazîndu-se pe această afirmaţie, un mare număr de terapeuţi şi-au axat programele de recuperare pe exerciţii ce urmăreau întărirea acestui fascicul.

Brewerton (1955), *Pocock* (1963), *Hallen* şi *O. Lindahl* (1967) au arătat însă că vastul medial nu are nici o acţiune selectivă şi că el îşi însumează numai forţa lui, la forţa celorlalte fascicule. *Lieb* şi *Perry* (1968) au demonstrat că toate cele 4 fascicule (vastul lateral, femuralul, vastul medial şi dreptul femural), chiar dacă acţionează izolat, realizează extensia completă a genunchiului. Aceşti ultimi autori remarcă însă faptul că vastul medial prezintă practic două porţiuni : un vast medial lung, care acţionează concomitent cu celelalte fascicule lungi ale cvadricepsului şi un vast medial oblic, care nu acţionează ca extensor al genunchiului, ci ca conducător al direcţiei de deplasare a rotulei.

Tot *Lieb* şi *Perry*, într-un studiu electromiografic ulterior, în 1971, au arătat că, deşi acţiunea vastului medial nu este selectivă, forţa cu care el participă la extensia genunchiului este aproximativ de două ori mai mare decît a oricăreia dintre celelalte trei porţiuni ale cvadricepsului. El au mai arătat, de asemenea, că pe ultimele grade de amplitudine, forţa cvadricepsului în totalitate scade şi că din acest punct de vedere extensia completă a genunchiului reprezintă o postură ineficientă, în programele de recuperare.

l) *Muşchiul tensor al sinovialei genunchiului* se găseşte situat sub femural. Se inseră proximal pe treimea inferioară a feţei anterioare a femurului şi distal pe fundul de sac subcvadricipital al sinovialei genunchiului.

Tensorul sinovialei genunchiului are rolul de a trage în sus fundul de sac și a nu-l lăsa să fie prins între femur și rotulă, în mișcările de extensie ale gambei pe coapsă.

BIOMECANICA ȘOLDULUI

Articulația coxo-femurală este o enartroză, are deci trei grade de libertate și permite efectuarea mișcărilor de flexie și extensie, abducție și adducție, rotație și circumducție. Datorită lungimii colului și înclinării sale pe diafiză, mișcările de flexie, extensie, abducție și adducție se asociază cu mișcări de rotație.

Goniometrie. Amplitudinile medii normale ale acestor mișcări sînt următoarele :

	Flexia	Extensia	Abducția-adducția	Rotația internă	Rotația externă
Activ	90–120°	30°	60–70°	35°	15°
Pasiv	110–150°	50°	70–80°	40°	20°
Diferența	20–30°	20°	10°	5°	5°

Amplitudinile medii normale ale mișcărilor șoldului variază după poziția genunchiului. Cînd acesta este flectat, ele cresc considerabil (cu aproximativ 20—30°).

Flexia și extensia se execută în plan sagital, în jurul unei axe transversale care trece prin vîrful marelui trohanter și prin foseta ligamentului rotund. Clinic, punctul de reper al axei biomecanice transversale este reprezentat de vîrful marelui trohanter.

Goniometrul se așază în plan sagital, pe fața laterală a șoldului, cu baza perpendiculară pe axa lungă a coapsei, cu axul indicatorului în dreptul vîrfului marelui trohanter, cu indicatorul culcat la 0°, în dreptul axei lungi a coapsei. Pentru determinarea flexiei, subiectul se așază în decubit dorsal, iar pentru determinarea extensiei, în decubit ventral (fig. 182).

Abducția și adducția se execută în plan frontal, în jurul unei axe antero-posterioare care trece prin centrul capului femural. Clinic, axa biomecanică antero-posterioară se repe-

rează pe fața anterioară a șoldului, în plica inghinală, la 1 cm în afara arterei femurale. Goniometrul se așază în plan frontal, pe fața anterioară a șoldului, cu baza proximal, cu axul indicatorului în plica inghinală, la 1 cm în afara arterei femurale, cu indicatorul îndreptat distal în dreptul axei lungi a coapsei.

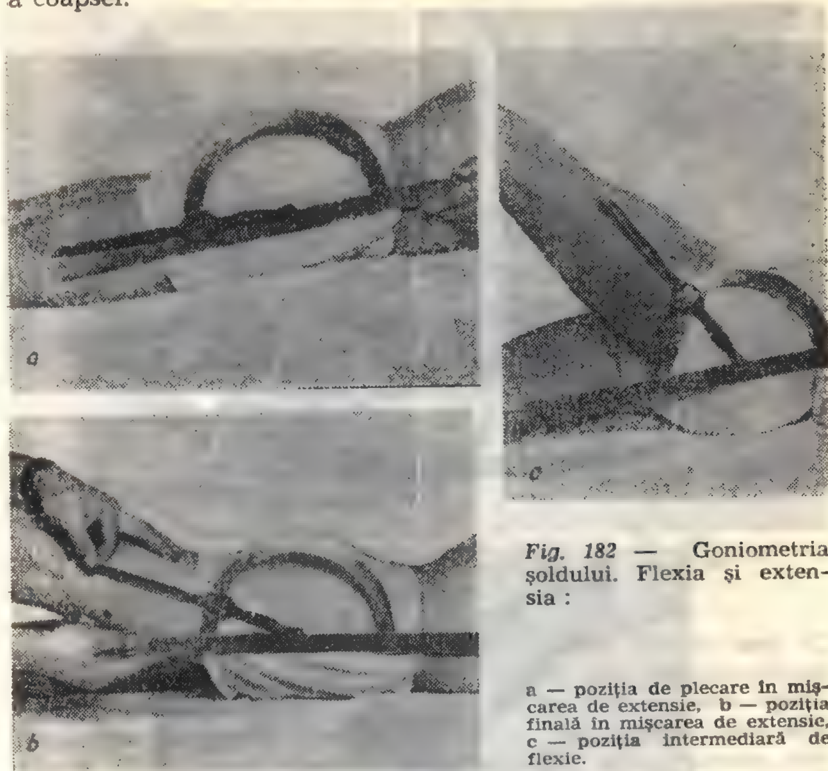


Fig. 182 — Goniometria șoldului. Flexia și extensia :

a — poziția de plecare în mișcarea de extensie, b — poziția finală în mișcarea de extensie, c — poziția intermediară de flexie.

Rotațiile internă și externă se execută în plan transversal, în jurul unei axe verticale care trece prin centrul capului. Pentru determinarea lor, subiectul se culcă în decubit ventral pe masă, cu genunchiul flectat la 90° și cu piciorul la zenit. Goniometrul se așază în plan transversal, pe fața anterioară a genunchiului flectat și a gambei, cu baza spre planul mesei, cu axul indicatorului în dreptul vîrfului rotulei și cu indi-

catorul vertical la zenit, suprapunîndu-se axei lungi a gambei (fig. 183).

Mişcările de flexie şi extensie. Dacă mişcările de flexie şi extensie ar fi pure, ar trebui să se realizeze în jurul unei axe transversale, care ar trece prin vîrful marelui trohanter şi prin



Fig. 183 — Goniometria şoldului. Rotaţia internă şi externă :
a — poziţia de plecare, b — poziţia finală în mişcarea de rotaţie internă, c — poziţia finală în mişcarea de rotaţie externă.

foseta ligamentului rotund (fig. 184). Această axă (B) ar corespunde deci axei anatomice a colului și a capului. Cum însă mișcarea de flexie se însoțește și de o mișcare de rotație înăuntru, iar mișcarea de extensie se însoțește de o mișcare de rotație în afară, adevărata axă biomecanică nu se suprapune

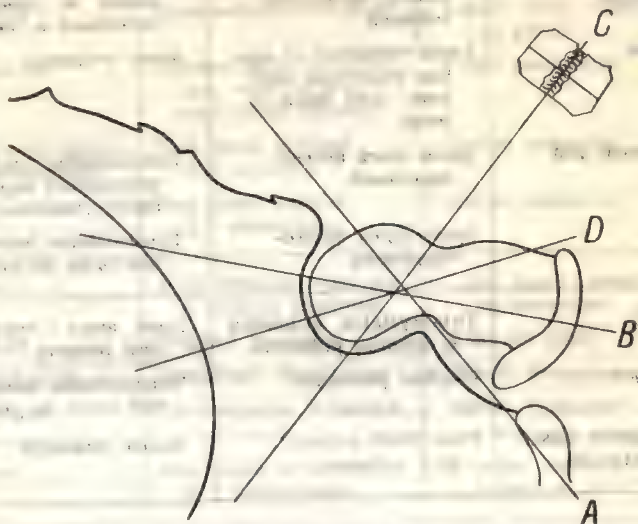


Fig. 184 — Raporturile dintre axa anatomică (B), planul frontal (D) și axa biomecanică (C), în mișcările de flexie și extensie ale șoldului.

nici axei anatomice (B), nici planului frontal (D), ci axei C, care reprezintă axa centrală a cavității cotiloide. Amplitudinea totală de flexie-extensie activă este de 90—120° și este legată de poziția în care se găsește genunchiul. Dacă genunchiul este extins, flexia șoldului este limitată la 90°, prin punerea sub tensiune a mușchilor posteriori ai coapsei. Cînd genunchiul este îndoit, flexia șoldului atinge 120°. În flexie se realizează partea anterioară a capsulei și ligamentul ilio-femural, mișcarea fiind limitată de mușchii posteriori ai coapsei.

Flexorii principali sînt : dreptul anterior, psoasul-iliac, tensorul fasciei lata și croitorul. Pînă la orizontală intervin și adductorii și dreptul intern, iar de la orizontală în sus — fesierul mijlociu prin fibrele lui anterioare. Mușchii flexori sînt mai puternici decît mușchii extensori.

Tabel recapitulativ al flexorilor șoldului

Denumirea	Inserția	
	Proximală	Distală
Drept anterior al cvadricepsului	Spina iliacă antero-inferioară ; sprînceana cotiloidă	Tendon cvadricipal, prin rotulă la tuberozitatea anterioară a tibiei
Psoas-iliac	Corpi vertebrali și apofize transverse lombare ; fosa iliacă internă	Micul trohanter
Tensor fascie lata	Spina iliacă antero-superioară	Tuberozitatea externă a extremității superioare a tibiei (tubercul Gerdy)
Croitor	Spina iliacă antero-superioară	Tuberozitatea internă a tibiei (laba de gîscă)
Adductorii	Tuberozitatea ischiatică și unghiul pubisului	Linia aspră ; condilul intern femural
Drept intern	Unghiul pubisului	Tuberozitatea internă a tibiei (laba de gîscă)
Fesier mijlociu (fasciculul anterior)	Fosa iliacă externă (1/3 mijlocie)	Marele trohanter

Extensia este limitată de partea anterioară a capsulei și de ligamentul ilio-femural. Hiperextensia este posibilă numai prin flexia articulației opuse și accentuarea curburii lombare. În această poziție, ligamentele ilio-pubian și ischio-femural se întind și fixează puternic capul în cavitate.

Extensorii principali sînt : semimembranosul, semitendinosul și bicepsul femural, ajutați de fasciculele posterioare ale fesierului mijlociu și de fesierul mic. În menținerea poziției de hiperextensie intervine și fesierul mare. Cînd coapsa se află dincolo de orizontală, intervin ca extensori adductorii, dreptul intern, obturatorul extern și pătratul femural.

Mișcările de abducție și adducție. Se realizează în jurul unei axe antero-posterioare care trece prin centrul capului femural și sînt însoțite de mișcări de rotație ale coapsei.

Cînd coapsele sînt extinse, amplitudinea maximă de abducție este de 60°, astfel că ambele coapse formează între ele

Tabel recapitulativ al extensorilor şoldului

Denumirea	Inserţia	
	Proximală	Distală
Semimembranos	Tuberozitatea ischiatică	Ambii condili tibiali
Semitendinos	Tuberozitatea ischiatică	Condil tibial intern (laba de gîscă)
Biceps femural	Tuberozitatea ischiatică ; linia aspră a femurului (buza externă)	Capul peroneului
Fesier mijlociu (fasciculele posterioare)	Fosa iliacă externă (1/3 mijlociu)	Marele trohanter
Fesier mic	Fosa iliacă externă (1/3 anterioară)	Marele trohanter
Adductorii	Tuberozitatea ischiatică şi unghiul pubisului	Linia aspră ; condil intern al femurului
Drept intern	Unghiul pubisului	Laba de gîscă
Obturator extern	Membrana obturatoare	Marele trohanter
Pătrat femural	Tuberozitatea ischiatică	Marele trohanter
Fesier mare	Fosa iliacă externă (1/3 posterioară)	Creasta externă de trifurcaţie a liniei aspre

un unghi de 120°. În flexia maximă a coapselor, abducţia atinge 70°, între ambele coapse formîndu-se un unghi de 140°.

Abducţia este efectuată de : tensorul fasciei lata, fesierul mijlociu şi croitor.

Tabel recapitulativ al abductorilor şoldului

Denumirea	Inserţia	
	Proximală	Distală
Tensor fascie lata	Spina iliacă anterosuperioară	Tuberozitatea extremităţii superioare a tibiei
Fesier mijlociu	Fosa iliacă externă (porţiunea mijlocie)	Marele trohanter (faţa externă)
Croitor	Spina iliacă anterosuperioară	Condil tibial intern (laba de gîscă)

Tabel recapitulativ al adductorilor șoldului

Denumirea	Inserția	
	Proximală	Distală
Psoas-iliac	Corpi vertebrali și apofize transverse lombare. Fosa iliacă internă	Micul trohanter
Fesier mic	Fosa iliacă externă (porțiunea anterioară)	Marele trohanter (marginea anterioară)
Drept intern	Unghiul pubisului	Condil tibial intern (laba de gîscă)
Pectineu	Spina pubisului	Creasta mijlocie de trifurcație a liniei aspre
Adductor mare	Tuberozitatea ischiatică; ramura ischio-pubiană	Condilul intern al femurului (tuberculul marelui adductor)
Adductor mijlociu	Unghiul pubisului	Linia aspră a femurului
Adductor mic	Unghiul pubisului	Creasta internă de trifurcație a liniei aspre
Semitendinos	Tuberozitatea ischiatică	Condil tibial intern (laba de gîscă)
Semimembranos	Tuberozitatea ischiatică	Ambii condili tibiali

Abducția este limitată prin punerea sub tensiune a ligamentului ilio-pretrohanterian (cînd coapsa este în extensie) și a ligamentului pubo-femural (cînd coapsa este în flexie).

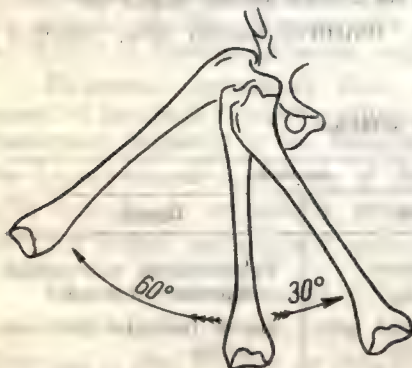


Fig. 185 — Amplitudinea mișcărilor de abducție și adducție ale coapsei.

Mușchii abductori sînt mai slabi și mai puțini ca număr decît mușchii adductori. La efectuarea adducției participă: psoasul-iliac, fesierul mic, dreptul intern, pectineul, cei trei adductori, semitendinosul și semimembranosul. Amplitudinea adducției este de 30° (fig. 185).

Amplitudinea abducției și adducției coapselor poate fi

mărită prin mişcările de compensare ale bazinului şi ale coloanei lombare. În mişcarea de sfoară laterală, abducţia reală a coapsei pe bazin nu depăşeşte 70° de fiecare parte, dar mişcarea devine posibilă datorită înclinării bazinului înainte şi unei lordoze accentuate, ceea ce face ca abducţia să se transforme în mişcare de flexie.

Mişcarea de adducţie este limitată de întîlnirea coapselor, iar cînd acestea se încrucişează — de către ligamentul pretrohanterian şi ligamentul rotund.

Mişcările de rotaţie externă şi internă. Se realizează în jurul unei axe verticale care trece prin capul femurului. Amplitudinea rotaţiei externe este de 15°, iar a rotaţiei interne de 35°, deci în total 50°. Cînd coapsa este în flexie şi abducţie, deci ligamentele sînt relaxate, amplitudinea rotaţiei totale (interne şi externe) atinge 100°.

Tabel recapitulativ al rotatorilor externi ai şoldului

Denumirea	Inserţia	
	Proximală	Distală
Fesier mijlociu (fasciculele posterioare)	Fosa iliacă externă (porţiunea mijlocie)	Marele trohanter (faţa externă)
Fesier mare	Fosa iliacă externă (porţiunea posterioară)	Creasta externă de trifurcaţie a liniei aspre
Gemen superior	Spina sciatică	Marele trohanter (faţa internă)
Gemen inferior	Tuberozitatea ischionului	Marele trohanter (faţa internă)
Obturator extern	Membrana obturatoare (faţa externă)	Marele trohanter (faţa internă)
Obturator intern	Membrana obturatoare (faţa internă)	Marele trohanter (faţa internă)
Pătrat femural	Tuberozitatea ischiatică	Marele trohanter (marginea posterioară)
Pectineu	Spina pubisului	Creasta mijlocie de trifurcaţie a liniei aspre
Drept intern	Unghiul pubisului	Laba de gîscă
Croitor	Spina iliacă anterosuperioară	Laba de gîscă

Rotatorii externi sînt : fesierul mijlociu (prin fasciculele posterioare), fesierul mare, cei 2 gemeni, piramidalul, cei 2 obturatori, pătratul femural, pectineul, dreptul intern și croitorul.

Mișcarea de rotație externă este limitată de fasciculul ilio-pretrohanterian al ligamentului ilio-femural și de ligamentul rotund. Mușchii rotatori externi sînt mai puternici și mai numeroși decît mușchii rotatori interni.

Rotatorii interni sînt : fesierul mijlociu (prin fasciculele lui anterioare), fesierul mic, semitendinosul și semimembranosul.

Tabel recapitulativ al rotatorilor interni ai șoldului

Denumirea	Inserția	
	Proximală	Distală
Fesier mijlociu (fasciculele anterioare)	Fosa iliacă externă (porțiunea mijlocie)	Marele trohanter (fața externă)
Fesier mic	Fosa iliacă externă (porțiunea anterioară)	Marele trohanter (marginea anterioară)
Semitendinos	Tuberozitatea ischiatică	Condil tibial intern (laba de gîscă)
Semimembranos	Tuberozitatea ischiatică	Ambii condili tibiali

Rotația internă este limitată de ligamentul ischio-femural și fasciculul ilio-pretrohanterian al ligamentului ilio-femural.

Mișcarea de circumducție. Rezultă din trecerea coapsei prin toate pozițiile descrise anterior. În realizarea ei intervin toate grupele musculare ale șoldului. În timpul mișcării de circumducție capul femural se învîrte în cavitatea cotiloidă, epifiza distală a femurului descrie un cerc, iar diafiza femurului un con.

Mișcarea de depărtare. Alcătuirea articulației permite ca printr-o tracțiune laterală puternică să se obțină și un mic grad de depărtare *(Gray)*. Această mișcare este, însă, pasivă și nu are importanță în statică și locomoție.

Tabel cuprinzînd caracteristicile morfo-funcţionale ale muşchilor şoldului*

(după *Schumacher, Neumann, Ladrick*)

Grupa	Denumirea	Lungimea fibrei	Secţiunea fiziologică	Greutate
Flexori	Psoas	7,7(5,5–11,5)	0,9	14,3
	Iliac	10,5(8,4–16,0)	10,2	22,5
	Drept anterior	6,1(5,3–6,4)	15,5	29,1
	Croitor	42,2(39,6–44,0)	4,1	24,4
	Tensor fascie lata	10,5(8–12)	3,7	9,7
	Total :	137	42,4	100,0
Extensori	Fesier mare	10,6(7,5–15,9)	28,2	104,6
	Biceps crural	8,1(6,1–10,5)	—	—
	Semitendinos	6,5(5,0–7,0)	—	—
	Semimembranos	5,5(4,4–7,0)	—	—
	Total :	30,7	50,0	115,0
Adductori	Pectineu	10,6(10,4–11,8)	3,3	10,6
	Adductor mijlociu	11,8(11,2–12,8)	4,9	14,2
	Adductor mic	10,9(10,5–11,2)	4,2	13,6
	Adductor mare	13,6(6,8–18,6)	22,8	81,4
	Drept intern	25,0(13,8–35,7)	2,3	14,6
	Total :	71,9	37,5	134,4
Abductori	Fesier mijlociu	6,2(4,6–7,7)	29,0	46,0
	Fesier mic	4,0(3,1–4,9)	9,2	10,7
	Total :	10,2	38,2	56,7
Rotatori	Piramidal	5,8(5,0–6,3)	4,0	7,3
	Obturator intern	5,3(3,8–7,5)	6,4	6,6
	Gemen superior	5,7(5,2–6,0)	0,5	0,5
	Pătrat femural	5,4(5,0–5,9)	2,9	6,5
	Obturator extern	5,1(4,0–6,5)	6,3	6,7
	Total :	27,3	20,1	27,6

x) Caracteristicile morfo-funcţionale se referă la lungimea fibrelor (se redau succesiv, în cm, media aritmetică şi în paranteză valoarea minimă şi valoarea maximă), secţiunea fiziologică transversală (în cm²) şi greutatea corpului muscular uscat (în g).

Aşa cum rezultă din studierea acestui tabel, extensorii deţin întîietatea ca întindere a secţiunii lor transversale totale, avînd faţă de flexori o superioritate de aproximativ 8%. Abductorii şi adductorii sînt aproximativ egali din punct de vedere al secţiunii lor transversale totale.

Studiul comparativ al greutăţilor uscate ale corpurilor musculare ne indică, de asemenea, o preponderenţă cu aproximativ 15% a extensorilor faţă de flexori. În contrast cu datele care se obţin prin studiul secţiunilor transversale, greutatea uscată a adductorilor depăşeşte cu mult pe aceea a abductorilor şi chiar valorile extensorilor.

Studiul comparativ al lungimii fibrelor musculare ne arată că flexorii au traseele cele mai lungi, fiind urmaţi de adductori.

Se poate conchide că *flexorii sînt muşchi lungi şi puternici, extensorii — muşchi scurţi şi puternici, adductorii — relativ lungi, dar foarte puternici, abductorii — scurţi şi relativ puternici*, iar *rotatorii — scurţi şi relativ slabi*.

Vom reveni asupra biomecanicii şoldului la studiul poziţiei stînd.

GENUNCHIUL

Genunchiul reprezintă segmentul mobil al aparatului locomotor care leagă coapsa de gambă.

SCHELETUL GENUNCHIULUI

Scheletul genunchiului este reprezentat de extremitatea inferioară a osului coapsei, *femurul*, de extremităţile superioare ale celor două oase ale gambei, *tibia* şi *peroneul*, şi de un os propriu al regiunii, *rotula*.

Extremitatea inferioară a femurului prelungeşte corpul la partea lui distală, mărindu-şi progresiv dimensiunile atît în sens transversal, cît şi în sens antero-posterior, ajungînd să aibă o formă neregulată. La partea ei anterioară, extremitatea inferioară a femurului prezintă o *trohlee* de forma unui mosor, alcătuită din şanţul trohleei şi două versante laterale, care se înclină una către alta. La partea lui posterioară, şanţul trohleei se continuă cu o mare scobitură, *scobitura intercondiliană*, care împarte extremitatea inferioară a femurului într-un *con-*

dil extern și un *condil intern*, ultimul terminîndu-se mai jos decît primul. Ambii condili alungiți posterior dau extremității o formă de volută.

Pe fețele interne ale celor doi condili se inseră extremitățile proximale ale ligamentelor încrucișate. Fața laterală a condilului intern prezintă o *tuberozitate* pe care se inseră ligamentul lateral intern al articulației genunchiului. Tot pe această față se mai află și *tuberculul*, care oferă inserție marelui adductor și o mică fosetă pentru inserția gemenului intern al tricepsului sural.

Fața laterală a condilului extern prezintă, de asemenea, o *tuberozitate*, pe care se inseră ligamentul lateral extern al articulației genunchiului. Înapoia acestei tuberozități se inseră gemenul extern al tricepsului sural și popliteul.

Extremitățile superioare ale tibiei și peroneului vor fi descrise în totalitatea lor la gambă.

Rotula (sau patela) este un os scurt, situat la fața anterioară a genunchiului. Văzută din față, rotula are o formă aproximativ triunghiulară, baza fiind așezată proximal, iar vîrful, distal. Văzută din profil, are forma unei lentile concavo-convexe. Fața anterioară convexă a rotulei vine în contact nemijlocit cu fascia genunchiului și tegumentele. Fața posterioară concavă este articulară. Pe baza și marginile ei se inseră tendonul cvadricipital, iar la vîrf — tendonul rotulian. Rotula este astfel înglobată în largul tendon distal de inserție al cvadricepsului, fiind considerată ca un os sesamoid al acestuia.

ARTICULAȚIILE GENUNCHIULUI

În regiunea genunchiului se găsesc trei articulații : *femuro-tibială* (sau articulația propriu-zisă a genunchiului), *femuro-rotuliană* (care participă la alcătuirea articulației propriu-zise a genunchiului) și *tibio-peronieră superioară*. Ultima va fi descrisă la gambă.

La om, capul peroneului, foarte redus ca dimensiuni, a devenit o piesă scheletică secundară, care nu participă la alcătuirea articulației genunchiului decît prin inserția pe care o oferă capătului distal al ligamentului lateral extern și mușchiului biceps-femural.

Articulația femuro-tibială este o trohleartroză imperfectă, care rezultă din contactul dintre extremitatea inferioară a femurului și extremitatea superioară a tibiei. Pentru a deveni perfectă și congruentă, dispune de două meniscuri.

Articulația femuro-tibială este cea mai voluminoasă articulație a corpului omenesc, deci și cea mai puternică.

a) *Suprafața articulară a extremității inferioare a femurului* este alcătuită de cei doi condili, separați de scobitura intercondiliană și de o trohlee. La partea sa anterioară, suprafața articulară se continuă cu fața corespunzătoare a trohleei, la acest nivel remarcîndu-se *linia condilo-trohleană*, care reprezintă, după *Terillon*, amprenta formată pe suprafețele articulare de către marginea superioară a meniscului. Cele două suprafețe (condiliană și trohleană) sînt acoperite de un strat de cartilaj hialin, gros de 2,5—3 mm.

Dacă extremitatea inferioară a femurului se secționează în lung, în două, se constată că traveele osoase sînt mai condensate spre condili și mai rare în dreptul trohleei ; de aceea, pe radiografia de profil apare o imagine lacunară, denumită *pata lui Ludloff*.

b) *Extremitatea superioară a tibiei* prezintă ca fețe articulare două *cavități glenoide* (dintre care cea externă este mai mare), separate între ele de doi tuberculi (unul dispus intern, iar altul extern) ai masivului osos aparținînd *spinei tibiale*. Înapoia și înaintea spinei, între cavitățile glenoide, se găsesc două suprafețe rugoase de formă triunghiulară : *suprafața prespinală*, mai mare și *suprafața retro-spinală*, mai mică. Pe spina tibială se inseră capetele distale ale ligamentelor încrucișate. Cavitățile glenoide sînt acoperite de un strat de cartilaj hialin care atinge grosimea maximă la mijlocul cavităților.

Tensiunile de presiune care se transmit de la condilii femurali la suprafețele portante ale platoului tibial se materializează printr-o condensare osoasă, în cupulă, a platourilor. Dat fiind faptul că această condensare este simetrică la nivelul ambelor cavități glenoide, se poate conchide că tensiunile de presiune se realizează simetric pe ambele suprafețe portante.

c) *Fața posterioară a rotulei* este divizată în două fațete laterale de către o creastă teșită și este acoperită de un strat de cartilaj hialin de 3—4 mm grosime. Cele două suprafețe laterale sînt în mod normal egale și raportul lor constituie ceea ce se numește indicele patelar al lui *Battström*. Acest indice poate fi modificat în diversele afecțiuni ale rotulei. *De Palma* a descris și două creste fine orizontale, care împart

cartilajul articular rotulian în trei suprafețe, ce corespund diverselor zone de contact ale osului cu trohlea în timpul flexiei.

d) Deoarece între suprafețele osoase articulare ale femurului și tibiei nu există o congruență perfectă, s-a dezvoltat între ele, pe fiecare cavitate glenoidă, cîte un *menisc* (fig. 186).



Fig. 186 — Meniscurile genunchiului drept, văzute de sus :
1 — menisc extern, 2 — menisc intern.

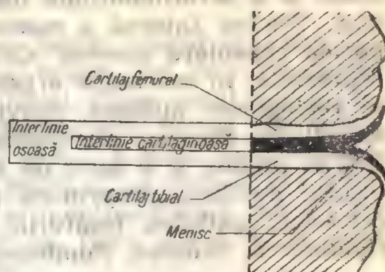


Fig. 187 — Poziția meniscului în sinusul condilo-glenoidian.

Meniscul extern are o formă circulară, iar cel intern forma unui C (formula mnemotehnică a acestor forme = OE, CI). Pe secțiune verticală meniscul apare prismatic-triunghiular și prezintă o bază prin care se inseră pe fața interioară a capsulei articulare, o față superioară în contact cu condilul femural, o față inferioară care stă pe cavitatea glenoidă tibială și o margine internă liberă, care privește spre centrul cavității glenoide. El se prezintă asemănător unui ic așezat în unghiul diedru al sinusului condilo-glenoidian (fig. 187).

Prin cornul său anterior, meniscul intern se fixează la marginea anterioară a platoului tibial, imediat înaintea ligamentului încrucișat anterior, iar prin cornul său posterior — pe suprafața retrospinală, imediat înapoia inserției ligamentului încrucișat posterior. Prin cornul său anterior, meniscul extern se fixează pe suprafața prespinală, imediat înaintea spinei, și pe fața externă a ligamentului încrucișat anterior ; prin cornul său posterior se fixează pe tuberculul intern al spinei tibiale.

De la cornul posterior al meniscului extern pornește un fascicul fibros, de obicei bine dezvoltat, care se îndreaptă în

sus pe fața anterioară a ligamentului încrucișat posterior pînă la condilul intern femural, de unde și numele de *ligament menisco-femural*. În plus, cele două meniscuri sînt reunite la partea lor anterioară de o formațiune delicată denumită *ligamentul transvers* sau *jugal*, care este înconjurat de *pachetul celular grăsos anterior al genunchiului*.

Nefiind strict cartilaginoase, meniscurile posedă o elasticitate și o deformabilitate mai mare decît a cartilajului obișnuit. Partea internă a meniscului nu conține vase, dar în partea capsulară acestea sînt abundente. Vasele meniscale reprezintă, în mecanica articulară, coroane relativ dure, care se rostogolesc apăsînd, strivind și dislocînd pînă la rupere, structurile fibrilare ale meniscului. Odată cu vasele se ramifică în menisc și o serie de *septuri meniscale*, care diferă de țesutul meniscal propriu-zis prin finețea fibrelor, apropierea celulelor, laxitatea țesăturii, hidratarea și bazofilia crescută (*Rădulescu, Crăciun, Pambuccian* și *Doboșiu*).

e) Segmentele osoase care intră în constituția articulației sînt menținute între ele de o *capsulă articulară*, întărită de șase ligamente : *anterior* (ligamentul rotulian), *posterior* (ligamentul lui *Winslow*), *lateral intern, lateral extern* și două *ligamente încrucișate*.

Capsula articulară are, în mare, forma unui manșon fibros care se fixează de jur împrejur, foarte apropiat de limita cartilajelor articulare, lateral pe meniscuri și înainte pe ligamentul jugal, ajungînd la tibie. Este foarte rezistentă, putînd suporta tracțiuni mai mari de 300 kg. Acest manșon nu este continuu și prezintă două mari soluții de continuitate : una anterioară, în care este plasată rotula, și una posterioară verticală, în dreptul scobiturii intercondiliene. În afara acestora, capsula mai prezintă și alte soluții de continuitate, are o formă neregulată și prezintă numeroase funduri de sac (*Maximencov*).

Ligamentul anterior sau rotulian, lățit transversal, gros și foarte rezistent, se întinde de la rotulă la tuberozitatea anterioară a tibiei și reprezintă tendonul terminal al mușchiului cvadriceps. Este separat de tibie prin *bursa pretibială profundă* și în rest este în raport, pe toată fața sa posterioară, cu scheletul celular grăsos anterior al genunchiului. Pe tuberozitatea anterioară a tibiei se află o altă bursă subtegumentară.

Ligamentul posterior al lui Winslow este alcătuit dintr-o porțiune mijlocie și două laterale și se întinde pe fața poste-

rioară a articulaţiei. Părţile laterale au forma unui segment de sferă cu concavitatea anterioară şi înconjură feţele superioare ale condililor femurali, confundîndu-se cu capsula articulară. La acest nivel se confundă cu inserţiile muşchilor gemeni (fascicule ale tricepsului sural), formează *cojile condiliene* şi se insinuează cu ele în scobitura intercondiliană, unde se confundă cu inserţiile ligamentelor încrucişate. Partea mijlocie se găseşte în scobitura intercondiliană şi este perforată de numeroase vase şi nervi.

Ligamentul lateral intern, uşor turtit, lateral se inseră sus pe tuberozitatea condilului femural intern, iar jos — pe partea cea mai de sus a feţei interne a tibiei. Ligamentul lateral intern este alcătuit din trei unităţi funcţionale. Prima este reprezentată de porţiunea superficială a lui, a doua de porţiunea profundă (ligamentul capsular mijlociu al lui *Slocum* şi *Larson* sau ligamentul menisco-femural şi menisco-tibial), iar a treia de porţiunea posterioară alcătuită din fibre oblice ce se pierd în capsula posterioară a articulaţiei.

Kennedy şi *Fowler* (1971), ca şi *Slocum* şi *Larson* (1968) studiind rolul porţiunii profunde a ligamentului lateral intern, au ajuns la concluzia că aceasta se opune mişcărilor excesive de rotaţie internă ale tibiei. *Warren* şi colab. (1974) au constatat că atît porţiunea profundă, cît şi aceea superficială, mai ales prin marginea ei anterioară, alcătuită din fibre lungi, se opun atît forţelor de rotaţie, cît şi celor care tind să valgizeze genunchiul.

Ligamentul lateral extern, de asemenea uşor turtit lateral, se inseră sus pe tuberozitatea condilului femural extern, iar jos — pe partea antero-externă a capului peroneului.

Ligamentele încrucişate se găsesc în scobitura intercondiliană. Cel anterior se inseră sus, pe porţiunea posterioară a condilului extern, şi se îndreaptă în jos, înainte şi înăuntru pentru a se insera pe partea antero-internă a spinei tibiale şi pe suprafaţa rugoasă prespinală, între inserţiile cornurilor anterioare ale meniscurilor. Ligamentul încrucişat posterior se inseră pe porţiunea posterioară a condilului intern şi se îndreaptă în jos, înainte şi înăuntru pentru a se insera înapoia spinei tibiale (formula mnemotehnică — AE, PI, adică „avant l'externat, puis l'internat").

f) *Sinoviala genunchiului* tapisează faţa interioară a manşonului capsular şi este cea mai întinsă şi mai complexă dintre toate sinovialele articulare. Ea se adaptează la toate fundurile

de sac capsulare şi se întrerupe la nivelul inserţiei meniscurilor, astfel încît este împărţită în două porţiuni : *una suprameniscală*, care reprezintă aproape întreaga sinovială şi alta *submeniscală*, mult mai redusă ca dimensiuni. Sinoviala genunchiului comunică în aproximativ 10% din cazuri cu sinoviala articulaţiei tibio-peroniere superioare.

Din punct de vedere geometric, suprafaţa articulaţiei genunchiului, definită de *Ivaniţki* ca o „articulaţie trohleo-sferică şi spirală", nu este nici sferoidă, nici trohleară. Aşa cum remarcă *Donskoi*, suprafaţa articulară a femurului, mult teşită înăuntru, este asemănătoare unei trohlee numai într-o oarecare măsură şi, afară de aceasta, vine în contact nu cu tibia, ci cu rotula. Cei doi condili articulari ai femurului nu au o formă regulată nici în sens transversal, în care dealtfel nici nu se fac mişcări (abducţia şi adducţia fiind practic minime), nici în sens antero-posterior, deoarece în acest din urmă caz suprafaţa are o cursă în spirală neuniformă.

Articulaţia femuro-rotuliană. Pentru a se înţelege mai bine biomecanica articulaţiei genunchiului, se descrie în mod izolat şi o articulaţie femuro-rotuliană, care este o trohleartroză. La alcătuirea ei intră ca suprafeţe articulare *trohleea* (din partea extremităţii inferioare a femurului) şi *faţa posterioară articulară a rotulei.*

Aparatul capsulo-ligamentar al articulaţiei se confundă cu cel al feţei anterioare al articulaţiei femuro-tibiale.

MUŞCHII GENUNCHIULUI

Muşchii care efectuează mişcările la nivelul genunchiului sînt muşchii coapsei şi muşchii gambei.

Muşchii coapsei care intervin în mişcările genunchiului sînt : cvadricepsul, tensorul fasciei lata, dreptul intern, croitorul, semitendinosul, semimembranosul şi bicepsul femural. Toţi sînt muşchi biarticulari şi au fost descrişi la muşchii şoldului.

Muşchii gambei. Dintre muşchii gambei, intervin ca muşchi accesorii în mişcările genunchiului cei 2 gemeni ai tricepsului sural, popliteul şi plantarul subţire, care vor fi descrişi la muşchii gambei.

STATICA GENUNCHIULUI

La omul normal, în poziția în picioare, cînd sprijinul se repartizează în mod egal pe ambele membre inferioare, greutatea corpului se transmite prin capetele femurale la genunchi și de aici la plante, linia de forță trecînd prin mijlocul capului femural, prin mijlocul genunchiului și prin mijlocul articulației gleznei.

Axa biomecanică a femurului, care trece prin centrul capului femural și prin scobitura intercondiliană, face cu axa anatomică a corpului femural un unghi de 10° deschis în sus (vezi figura 175).

Condilul femural intern este de 2—7 mm (în medie cu 4 mm mai coborît decît cel extern). Cavitatea internă a platoului tibiei este, de asemenea, mai scobită și mai coborîtă cu 2,5—3 mm față de cea externă (fig. 188). Din această cauză, fiecare cavitate glenoidă primește transmisia forțelor de presiune pe un plan orizontal, dar la nivele diferite.

Față de axa anatomică a tibiei, axa anatomică a femurului se găsește ușor înclinată în afară, formînd astfel un unghi deschis în afară, unghi care variază între 170° și 177° *(genu valgum fiziologic)*.

Deoarece greutatea se transmite de pe femur pe tibie prin cei doi condili femurali, care au forma unor segmente de sferă, se poate admite că contactul se face prin două puncte de sprijin, situate în centrul glenelor tibiale. Rezultanța greutății corpului se împarte la nivelul genunchiului în două forțe egale și paralele, situate la aproximativ 4 cm una de alta, care își au punctul de aplicare în centrul cavității glenoide. Dacă însă proiecția centrului de greutate este deviată în afară sau înăuntru cu 2 cm, ea trece prin centrul platoului tibial și cavitatea glenoidă respectivă o suportă în întregime. Dacă proiecția centrului de greutate este deviată cu mai mult de 2 cm, încărcarea platoului tibial respectiv ajunge să fie mult superioară greutății corpului. Sub presiunea exer-

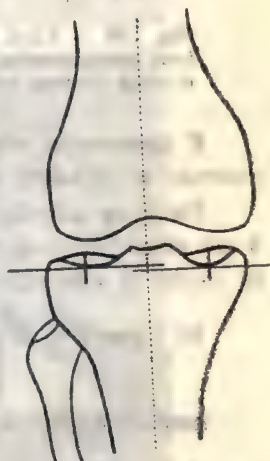


Fig. 188 — Cavitatea glenoidă internă este situată cu 2,5—3 mm mai jos decît cea externă.

citată de această forță, genunchiul s-ar disloca dacă nu s-ar opune ligamentul colateral de partea opusă, care constituie însă și el o pîrghie de gradul II, care mărește presiunea asupra condilului femural (fig. 189). Ecuația forțelor care intră în joc, după *Bouillet* și *Ph. van Graver* se poate exprima astfel pentru un individ de 80 kg :

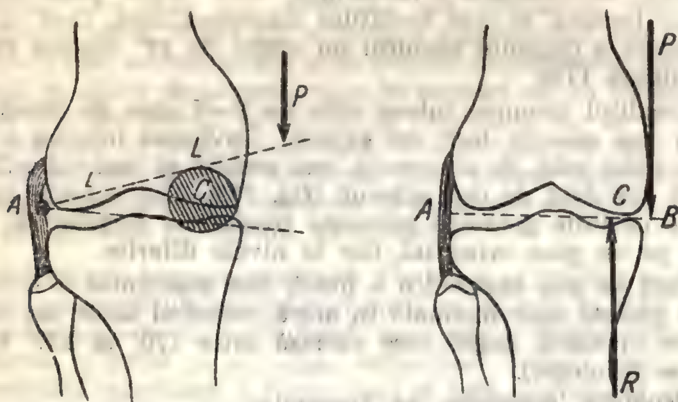


Fig. 189 — Cînd rezultanta greutății corporale trece înăuntrul genunchiului, condilul intern se găsește comprimat ca o nucă într-un spărgător de nuci.

F (greutatea corpului) × l (brațul său de pîrghie = R (rezistența condilului) × l (brațul său de pîrghie).

Dacă se admite că fiecare platou tibial are o lățime de 4 cm și că punctul de sprijin asupra condilului intern se face la mijlocul platoului intern, se poate calcula :

$$80 \text{ kg} \times 8 = R \times 6 \text{ cm sau } R = \frac{80 \times 8}{6} = 106{,}6 \text{ kg}$$

BIOMECANICA ARTICULAȚIEI FEMURO-TIBIALE

Articulația femuro-tibială, ca orice articulație cu un singur grad de libertate, prezintă două mișcări principale : flexia și extensia gambei pe coapsă. Aceste mișcări sînt însoțite de altele secundare, de rotație internă și externă. În plus, articu-

lația mai poate prezenta o serie de mișcări de înclinare laterală, foarte reduse ca amplitudine.

Goniometria. Amplitudinea medie normală a mișcărilor active de flexie și extensie este de 135°, iar a celor pasive de 150°, deci diferența dintre mobilitatea pasivă și cea activă este de 15°.

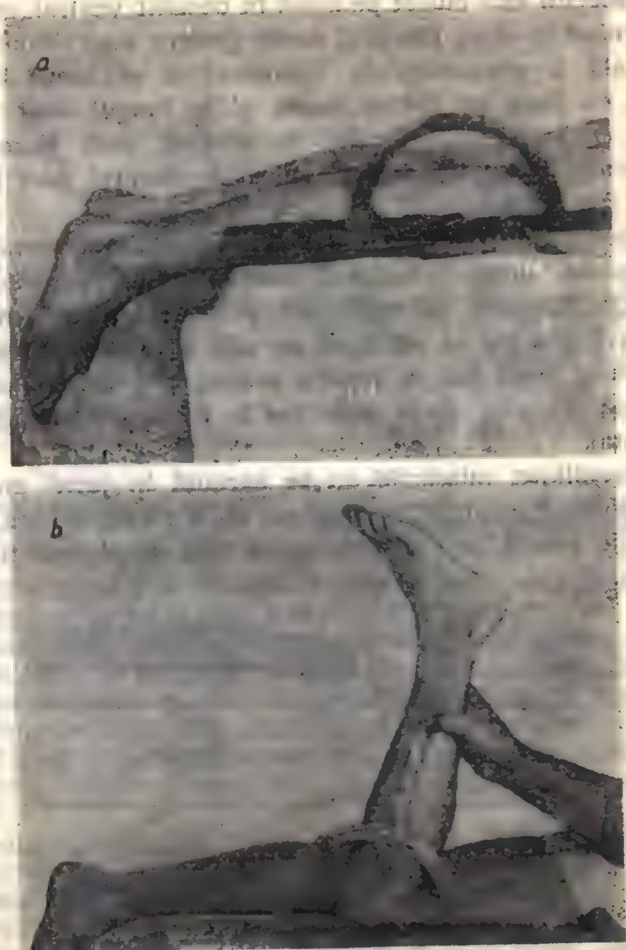


Fig. 190 — Goniometria genunchiului :
a — poziția de start. b — poziția finală a flexiei.

Mişcările se execută în plan sagital, în jurul unei axe transversale, care trece prin cele două tuberozităţi condiliene ale femurului. Clinic, axul biomecanic transversal este reperat pe faţa laterală a genunchiului, la 1,5 cm deasupra interliniei articulare, la unirea celor două treimi anterioare cu treimea posterioară a condilului femural extern.

Subiectul este culcat pe masă în decubit ventral, cu piciorul atîrnînd în afara planului mesei (pentru a se obţine extensia totală a genunchiului). Goniometrul se aşază în plan sagital, cu baza pe planul mesei şi în lungul axei coapsă-gambă, cu axul indicatorului în dreptul axei biomecanice transversale şi cu indicatorul culcat în dreptul axei lungi a gambei (fig. 190).

Mişcările de flexie şi extensie. Articulaţia femuro-tibială funcţionează după principiul unei pîrghii de gradul III (fig. 191). Mişcarea se realizează prin deplasarea femurului pe tibia fixată (ca în sprijinul pe sol), prin deplasarea tibiei pe femurul fixat (ca în poziţia şezînd) sau prin deplasarea simultană a celor două oase (ca în mers, cînd gamba este pendulată).

În realitate, mişcările nu se execută în jurul unei axe fixe. Deoarece condilii femurali nu au o formă sferică, ci un contur de volută, axa se deplasează faţă de platoul tibial în

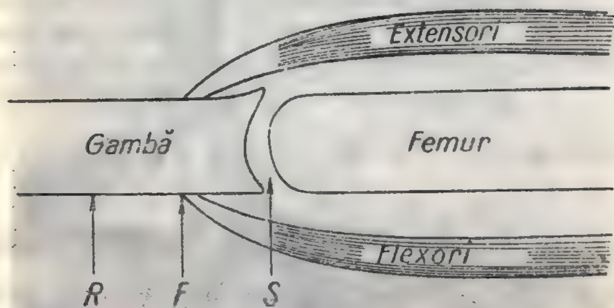


Fig. 191 **— Articulaţia femuro-tibială funcţionează după principiul unei pîrghii de gradul III atît în mişcările de flexie, cît şi în cele de extensie.**

jurul mai multor puncte axiale (fig. 192). Axa transversală se deplasează în flexie, în sus şi înapoi (fig. 193) şi în extensie, în sens invers.

Mişcarea de flexie este aceea prin care faţa posterioară a gambei se apropie de faţa posterioară a coapsei. Mişcarea se execută în jurul mai multor axe. Începutul mişcării de flexie

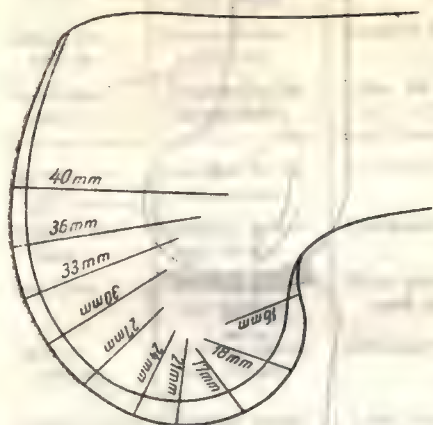
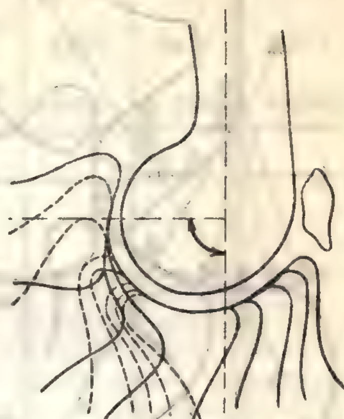


Fig. 192 — Deplasarea axei de mişcare se datoreşte formei condililor femurali.


Fig. 193 — Deplasarea posterioară a axei transversale de flexie a genunchiului.

se face mai mult prin rostogolire, iar sfîrşitul mai mult prin rotaţie pe loc, în jurul unei axe fixe (fig. 194).

Dacă în poziţia de extensie se fixează două repere osoase simetrice, unul în femur şi altul în tibie, în momentul în care începe să se efectueze flexia, aceste repere nu îşi mai păstrează simetria (fig. 195). Distanţa parcursă de punctul tibial este mai scurtă decît aceea parcursă de punctul femural, care s-a învîrtit dinainte înapoi, dar a şi alunecat dinapoi înainte *(Weber)*.

Cînd genunchiul ajunge la o flexie de 70°, se asociază şi o mişcare de rotaţie internă, care poate ajunge pînă la 20° amplitudine.

Muşchii motori ai mişcării de flexie sînt în primul rînd bicepsul şi semimembranosul, iar în mod accesoriu — semitendinosul, gemenii, popliteul, plantarul subţire, dreptul intern şi croitorul.

Forța de acțiune a acestor mușchi a fost determinată de *Fick*. În tabelul recapitulativ al flexorilor genunchiului, pe care-l redăm mai jos, anexăm datele obținute de acest autor în ceea ce privește scurtarea mușchilor în timpul contracției (în metri), suprafața secțiunii lor fiziologice (în cm²) și forța

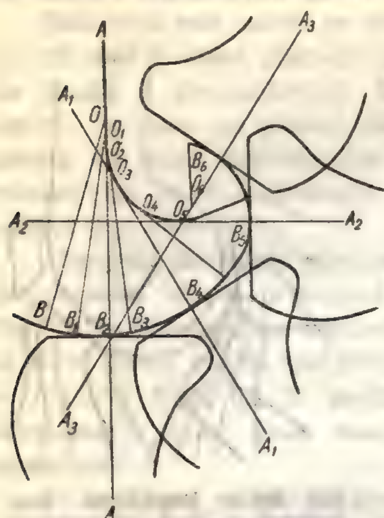


Fig. 194 — Desfășurarea mișcării :
AA — evolventă, O_1—O_6 — evoluta.

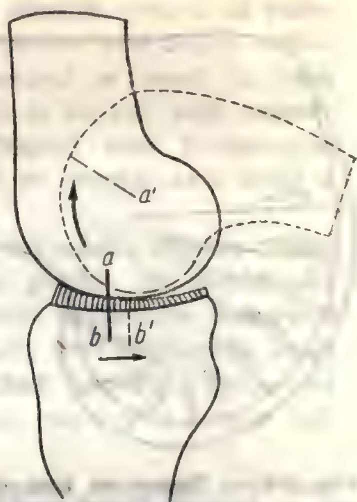


Fig. 195 — Experiența lui Weber. Cînd genunchiul este extins, punctele de contact femuro-tibiale sînt a—b. Cînd genunchiul este flectat la 90°, aceste puncte se deplasează și devin a' și b'. Faptul că aa' este mai mare decît bb' arată că condilul femural a rulat, dar a și alunecat dinainte-înapoi (după F. Pouzet).

lor de acțiune (în kilogrammetri), care rezultă din scurtarea (în metri) × secțiune fiziologică (în cm²) × 10.

Limitarea mișcării de flexie este practic realizată de întîlnirea feței posterioare a gambei cu fața posterioară a coapsei. Tendonul rotulian solidarizează rotula la tibie, dar alungirea cvadricepsului permite o mișcare de flexie totală.

Tabel recapitulativ al flexorilor genunchiului

Denumirea	Inserţia		Scurtarea (în m)	Secţiunea fiziologică (în cm²)	Travaliu (în kilogrammetri)
	Proximală	Distală			
Biceps femural	Tuberozitatea ischiatică; linia aspră	Capul peroneului	0,059	17,37	10,248
Semimembranos	Tuberozitatea ischiatică	Condilii tibiali	0,064	26,38	16,833
Semitendinos	Tuberozitatea ischiatică	Laba de gîscă	0,134	7,27	13,242
Gemen extern	Condilul femural extern	Calcaneu			
Gemen intern	Condilul femural intern	Calcaneu			
Popliteu	Condilul femural extern	Faţa posterioară a tibiei			
Plantar subţire	Condilul femural extern	Calcaneu			
Drept intern	Unghiul pubisului	Laba de gîscă	0,075	4,11	3,082
Croitor	Spina iliacă	Laba de gîscă	0,070	3,17	2,319
				Total:	45,724

Mişcarea de extensie este aceea prin care faţa posterioară a gambei se depărtează de faţa posterioară a coapsei. La început mişcarea se realizează prin rotarea extremităţii femurului, apoi prin rostogolirea lui pe platoul tibial, pînă cînd axa lungă a gambei ajunge să continue axa lungă a coapsei (văzute din profil). Mişcării de extensie i se asociază şi o mişcare de rotaţie în afară a gambei pe coapsă.

Muşchii motori ai extensiei sînt în primul rînd cvadricepsul şi tensorul fasciei lata. Ei realizează, împreună cu tendonul cvadricipital, rotula, aripioarele rotuliene şi tendonul rotulian, un aparat complex de extensie a genunchiului. În tabelul recapitulativ pe care îl prezentăm în continuare redăm şi forţa lor de acţiune, calculată identic ca pentru flexori.

Tabel recapitulativ al extensorilor genunchiului

Denumirea	Inserţia		Scurtarea (în m)	Secţiunea fiziologică (în cm²)	Travaliu (în kilogrammetri)
	Proximală	Distală			
Vast extern şi intern	Linia aspră	Tuberozitatea anterioară a tibiei	0,080	148,30	118,640
Drept femural	Spina iliacă antero-inferioară	Tuberozitatea anterioară a tibiei	0,081	28,89	23,400
Tensor fascie lata	Spina iliacă antero-superioară	Tuberozitatea extremităţii superioare a tibiei	0,010	7,56	0,756
			Total:		142,796

După cum rezultă în mod evident din acest tabel, extensorii au o forţă de acţiune totală de 142,796 kgm, pe cînd flexorii, de numai 45,724 kgm. Faptul este uşor explicabil, deoarece muşchii extensori au de luptat împotriva greutăţii corpului, în timp ce flexorii nu susţin şi greutatea corpului. Acest excedent de forţă a apărut mai tîrziu în evoluţia filogenetică şi coincide cu poziţia ortostatică a primatelor şi a omului. Incompletă la maimuţele evoluate, care merg încă cu genunchii uşor flectaţi, functia de stabilizare a cvadricepsului nu îşi atinge perfecţiunea decît la om. Contracţia cvadricepsului are ca efect presarea puternică a suprafeţelor articulare una asupra alteia, ceea ce împiedică prăbuşirea genunchiului. Am văzut că, pentru a ajunge la extensia completă, genunchiul suferă o mişcare de alunecare şi una de rotaţie („screw-home motion"). Odată extins, genunchiul ajunge într-o poziţie de zăvorîre, în care acţiunea musculară nu mai este necesară („locked position").

Extensorii acţionează cu toată forţa lor atunci cînd se face extensia forţată a genunchiului flectat sau cînd se execută o mişcare forţată de blocare a genunchiului în uşoară flexie, situaţii care se întîlnesc frecvent în activitatea de educaţie fizică şi sport şi în diferite munci fizice. Uneori, forţa lor de acţiune este atît de mare, încît se rupe aparatul extensor al

genunchiului la un nivel oarecare, ajungîndu-se astfel la o ruptură de tendon cvadricipital, la o fractură de rotulă, la o ruptură de ligament rotulian sau la o smulgere de apofiză tibială anterioară. Ruptura tendonului cvadricipital se produce de obicei la fotbalişti şi rugbişti, iar aceea a ligamentului rotulian la alpinişti.

Mişcarea de extensie este limitată în primul rînd de ligamentul posterior al lui *Winslow*, de ligamentul încrucişat anterior şi în mod accesoriu de către ligamentul încrucişat posterior, de muşchii ischio-gambieri şi ligamentele laterale, care se întind în momentul extensiei.

Mişcările de rotaţie înăuntru şi în afară. Mişcările de rotaţie ale gambei pe coapsă se explică prin înălţimea diferită a condililor femurali şi se asociază mişcărilor de flexie şi extensie. Intervin, de asemenea, şi ligamentele încrucişate, care rotează gamba în afară în poziţia finală de flexie şi înăuntru în poziţia finală de extensie.

Amplitudinea mişcării de rotaţie activă este de 15—20°, iar de rotaţie pasivă de 35—40°. Axa în jurul căreia se execută mişcarea este verticală şi trece prin centrul spinelor tibiale.

Rotaţia în afară este realizată de biceps, iar rotaţia înăuntru de semimembranos, popliteu, semitendinos, drept intern şi croitor. Dacă se face calculul comparativ al forţei de acţiune al rotatorilor, se constată că rotatorii interni sînt mai puternici decît rotatorii externi, ceea ce se poate explica prin faptul că flexia combinată cu o rotaţie înăuntru este mişcarea obişnuită a genunchiului, în timp ce rotaţia în afară este o mişcare excepţională.

În rotaţia externă, ligamentele laterale se întind, iar ligamentele încrucişate se relaxează, în timp ce în rotaţia internă se întind ligamentele încrucişate şi se destind ligamentele laterale.

Mişcările de lateralitate. Acestea sînt limitate de ligamentele laterale. Cum aceste înclinări sînt necesare să fie limitate, în special în mers, ligamentele laterale sînt puse sub tensiune maximă odată cu extensia genunchiului. În flexia completă ligamentul lateral extern se relaxează, dar cel intern se menţine uşor destins. În semiflexie, însă, se obţine o relaxare maximă a ligamentelor.

Deplasarea înainte şi înapoi a platoului tibial pe condilii femurali, cînd genunchiul este extins, este limitată de liga-

mentele încrucişate. Ligamentul încrucişat anterior limitează deplasarea înainte, iar cel posterior — deplasarea înapoi. Ligamentul încrucişat anterior se întinde în extensie, se relaxează în flexia uşoară şi se întinde din nou în hiperextensie. Ligamentul încrucişat posterior se întinde în flexie completă, se relaxează în semiflexie şi se întinde din nou uşor în extensie. În semiflexie, ambele ligamente încrucişate fiind mai destinse, se poate obţine o uşoară mişcare de alunecare în sens anteroposterior a platoului tibial pe condilii femurali.

În diferitele activităţi sportive aparatul ligamentar, care limitează mişcările genunchiului, este deosebit de solicitat. Forţarea genunchiului în valg (înăuntru) sau în var (în afară), însoţită sau nu de răsucirea gambei pe coapsă, duce la leziuni de diferite intensităţi ale ligamentelor laterale. Astfel, este clasică entorsa ligamentului colateral intern, cunoscută sub denumirea de „schi-punct". Ligamentul încrucişat anterior se poate rupe prin mai multe mecanisme. De exemplu, el poate fi lezat în urma unui traumatism puternic asupra feţei anterioare a genunchiului aflat în extensie sau asupra suprafeţei posterioare a gambei, genunchiul fiind flectat la 90°. De asemenea, mai poate fi lezat prin trecerea forţată de la flexie la extensie, cu genunchiul rotat extern. Ligamentul încrucişat postero-extern se rupe foarte rar, cînd lovitura pe gambă surprinde genunchiul în flexie.

BIOMECANICA MENISCURILOR

Meniscurile, deşi solidare la tibie, se deplasează în flexie dinainte înapoi pe platoul tibial, dar se apropie uşor şi între ele, prin extremităţile posterioare. În flexia completă, meniscul extern ajunge la 1 cm şi cel intern la 0,8 cm de marginea anterioară a platoului. În extensie, meniscurile se deplasează în sens invers, adică dinapoi înainte, ating marginile anterioare ale platoului tibial şi se depărtează uşor unul de altul. Alunecările meniscurilor pe platoul tibial se fac prin modificarea formei lor, deoarece au extremităţile fixate.

Afară de aceste alunecări pe platoul tibial, meniscurile se deplasează în timpul mişcărilor şi odată cu platoul faţă de condilii femurali, ele situîndu-se mereu pe acea parte a platoului care suportă presiunea condililor. În extensie, condilii alunecă înainte, împingînd meniscurile înaintea lor, iar în flexie, condilii alunecă înapoi, împingînd meniscurile înapoia lor.

În timpul mișcărilor de rotație meniscurile sînt de asemenea antrenate. În mișcarea de rotație a gambei în afară, partea anterioară a meniscului intern urmează capsula la care aderă și se deplasează dinapoi înainte și dinăuntru în afară, în timp ce extremitatea sa posterioară este împinsă înapoi de condilul femural, ceea ce are drept rezultat o puternică distensie a meniscului. Meniscul extern poate suferi o deplasare asemănătoare, dar de sens invers, în timpul mișcării de rotație externă.

Meniscul extern, fiind mai rezistent și mai mobil, se deplasează făcînd excursii mai întinse, în timp ce meniscul intern, mai subțire — și mai ales mai puțin mobil la nivelul cornului său posterior — nu poate urma uneori deplasarea condilului femural intern și este strivit.

Rolul meniscurilor în biomecanica articulației genunchiului este complet. După *Bouillet* și *van Graver* sînt de reținut 5 funcții biomecanice importante ale acestor formațiuni fibrocartilaginoase :

1. Completează spațiul liber dintre suprafața curbă a femurului și suprafața plană a tibiei și împiedică astfel protruzia sinovialei și capsulei în cavitatea articulară, în cursul mișcărilor.

2. Centrează sprijinul femurului pe tibie în cursul mișcărilor. Importantă din acest punct de vedere este, în special, periferia meniscurilor, care este mai rezistentă *(Trillat)*.

3. Participă la lubrifierea suprafețelor articulare, asigurînd repartizarea uniformă a sinoviei pe suprafața cartilajelor *(Smillie* și *Mc Connill)*.

4. Joacă rolul unui amortizor de șoc între extremitățile osoase, mai ales în mișcările de hiperextensie și hiperflexie *(Fairbank)*.

5. Și, în fine, reduc în mod important frecarea dintre extremitățile osoase.

Hjorstjö a arătat că frecarea dintre suprafețele cartilaginoase ale unei articulații depinde de felul mișcărilor și că din acest punct de vedere se pot descrie trei varietăți de mișcare :

a) *Rularea*, este asemănătoare mișcării unei roți care înaintează pe sol. Teoretic, în acest caz, se poate afirma că nu există frecare, deoarece roata își derulează suprafața sa punct cu punct pe planul care o suportă. Flexia genunchiului, de exemplu, în primele ei grade se face după această varietate de mișcare („rolling joint“) (fig. 196, a).

b) *Frecarea simplă*, este asemănătoare mişcării unei roţi care patinează pe sol. De data aceasta toate punctele periferice ale roţii intră succesiv în contact cu aceleaşi puncte ale solului, rezultînd importante forţe tangenţiale, care atrag uzura celor două suprafeţe în contact („grinding joint") (fig. 196, b).

c) *Frecarea accentuată*, este asemănătoare unei roţi anexate unui alt mobil, care o trage într-o direcţie opusă celei

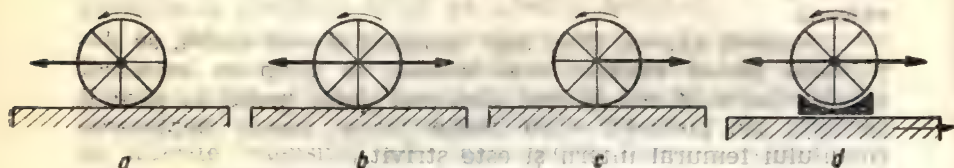


Fig. 196 — **Cele trei variante de mişcare :**
a — rularea, b — frecarea simplă, c — frecarea accentuată, d — rolul meniscurilor.

pe care trebuie să o urmeze. Frecarea cu punctele de contact ale solului este dublă, cele două suprafeţe derulîndu-se în sens invers, una faţă de cealaltă (fig. 196, c).

Meniscul, plasat sub roata dată ca exemplu, împarte articulaţia roată — sol, în care frecarea este accentuată, în două articulaţii distincte, în care frecarea devine simplă (fig. 196, d).

Rotula care alunecă pe trohleea femurală suferă o mişcare de tipul „accentuated grinding joint". Între suprafeţele articulare ale femurului şi tibiei ar fi trebuit să se producă o mişcare tot de acest tip dacă nu ar fi existat meniscurile, care împart articulaţia femuro-tibială în două articulaţii distincte, în care frecarea devine simplă, de tipul „grinding joint".

Marea majoritate a rupturilor de menisc se datoresc accidentelor de sport, în special acelora care prezintă mişcări rapide şi puternice sau care îşi modifică direcţia în timpul efectuării lor (fig. 197). Jucătorul de fotbal, de exemplu, face deseori mişcări bruşte de rotaţie a trunchiului, în timp ce piciorul este fixat pe crampoane pe sol. Piciorul fixat nu are cum să mai fie mobilizat şi se stabileşte un decalaj între răsucirea puternică a corpului şi a femurului, la nivelul genunchiului. Se mai pot adăuga loviturile sau supraîncărcările prin căderile unui jucător peste altul. Astfel, meniscurile sînt supuse unor presiuni foarte mari şi se pot rupe. Statistica lui *Doboşiu, Baciu* şi *Tomescu* arată că, la noi în ţară, frecvenţa rupturilor de menisc pe sporturi este următoarea : fotbal —

56%, rugbi şi gimnastică — 10%, handbal — 5%, baschet şi turism — 3%, volei şi schi — 1%, atletism — 1%.

BIOMECANICA ARTICULAŢIEI FEMURO-ROTULIENE

Rotula este menţinută pe locul ei, de un sistem complicat de frîuri, de origine musculară, ligamentară şi tendinoasă.

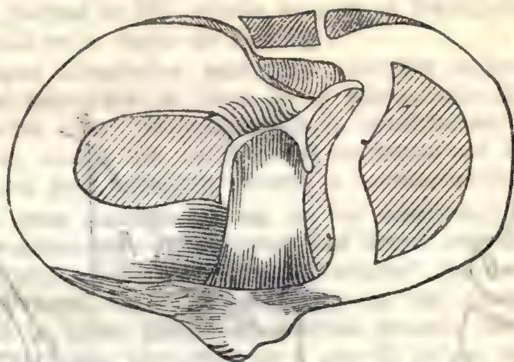


Fig. 197 — Ruptură tipică de menisc în „toartă de coş".

În sens vertical, ea este fixată de tendonul rotulian şi de tendonul cvadricipital. Acestea nu se continuă în linie, ci fac între ele un unghi deschis în afară (denumit „unghiul Q"). Închiderea acestui unghi favorizează apariţia luxaţiei recidivante a rotulei. Dintre cele două tendoane, numai cel cvadricipital este motor şi solicită direct rotula, trăgînd-o în afară, dar în acelaşi timp, aplicînd-o puternic în şanţul trohlean. În sens transversal, rotula este menţinută de cele două aripioare rotuliene. Aripioara internă, care se întinde de la marginea internă a rotulei, la faţa internă a condilului intern, este întărită de inserţia vastului intern şi de ligamentul menisco-rotulian intern şi este deosebit de solicitată. Aripioara externă care se întinde de la marginea externă a rotulei, la faţa externă a condilului extern, deşi este întărită de vastul extern, fascia lata şi ligamentul menisco-rotulian extern, este mai slab dezvoltată.

În afara acestor formaţiuni, o serie de elemente fibroase se încrucişează peste rotulă, formînd o veritabilă reţea, care o aplică în şanţul trohleean. Ele provin din expansiunile di-

recte și încrucișate ale vaștilor, expansiunile croitorului, fasciei lata, aponevrozei gambiere și ale dreptului anterior.

Datorită grosimii sale, rotula are rolul ca în timpul mișcării de extensie să mențină tendonul la distanță de trohleea femurală. Deplasînd tendonul cvadricipital față de axa de rotație a genunchiului, prezența rotulei mărește brațul de pîrghie al cvadricepsului cu aproximativ 50% (*Hervert Maxton*, *Steindler* etc.).

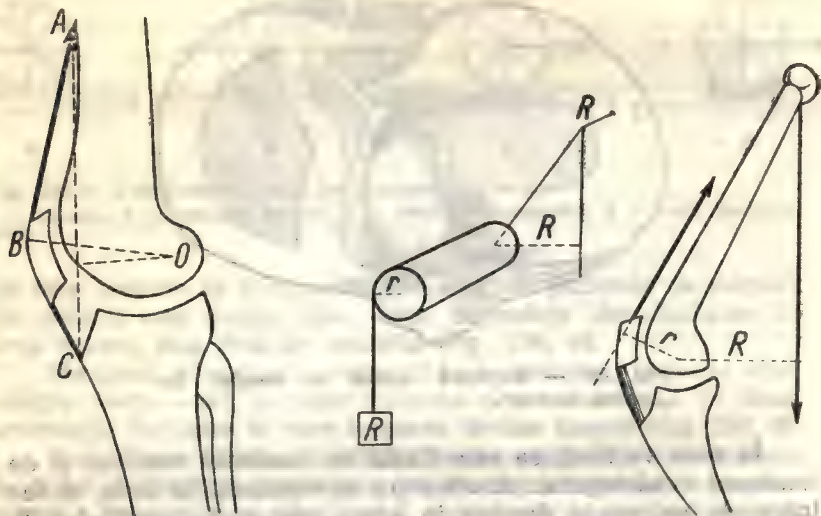


Fig. 198 — **Brațul de pîrghie al cvadricepsului este mărit de prezența rotulei.**

Dar acțiunea rotulei este încă și mai complexă (fig. 198). *Storck* a comparat genunchiul cu o vîrtelniță de puț, în care axa centrală a vîrtelniței este reprezentată de centrul de rotație al genunchiului, coarda care trage găleata este tendonul rotulian, iar manivela este brațul de pîrghie al femurului. La vîrtelniță, rezistența (R), reprezentată de coardă, își păstrează un braț de pîrghie constant, egal cu raza vîrtelniței pe care se înrolează coarda, iar forța necesară manivelei va fi cu atît mai mare, cu cît manivela va fi mai aproape de orizontală. La genunchi, rezistența (R) reprezentată de cvadriceps și aparatul rotulian are un braț de pîrghie variabil după poziția genunchiului. Cu cît flexia este mai mare, cu atît mai mare va fi brațul de pîrghie asupra căruia apasă greutatea corpului.

Prezenţa rotulei uşurează activitatea cvadricepsului. În acelaşi timp se naşte însă, în momentul flexiei, o rezultantă care apasă puternic rotula pe trohleea femurală. Această rezultantă este bisectricea unghiului format de tendonul rotulian cu direcţia de acţiune a forţei cvadricepsului. Această rezultantă este egală cu 0 cînd genunchiul este extins, dar creşte pe măsură ce genunchiul se flectează. La coborîrea unei scări, la un individ de 80 kg, în momentul sprijinului unilateral, cu genunchiul flectat la 50°, rotula ajunge să fie aplicată pe trohleea femurală cu o forţă de 150 kg.

În timpul diverselor activităţi sportive aplicarea rotulei pe trohleea femurală se face cu o intensitate şi mai mare, datorită forţei mari de contracţie a cvadricepsului. Apariţia leziunilor de uzură ale cartilajului articular al feţei posterioare a rotulei este urmarea directă a acestor acţiuni.

Rotula este considerată ca un os sesamoid, dezvoltat în grosimea tendonului cvadricipital sau drept extremitatea proximală a osului vechi „intermediar crural", pe cale de regresiune *(De Vriese)*, or, mai simplist, ca un olecran detaşat. Solidarizată la tibie, printr-un tendon practic inextensibil, ea alunecă pe trohleea femurală ca o coardă pe un mosor şi deci este necesar să se adapteze acestuia din urmă.

Cînd genunchiul este în hiperextensie şi cvadricepsul contractat, rotula ocupă poziţia sa cea mai înaltă, deasupra suprafeţei articulare a trohleei şi puţin în afara scobiturii supratrohleare. Suprafaţa sa articulară se găseşte în acest moment în raport direct cu plica sinovială a fundului de sac cvadricipital. Dacă cvadricepsul nu este contractat, iar genunchiul se menţine în extensie, suprafaţa articulară a rotulei în jumătatea ei inferioară ia contact cu suprafaţa articulară a trohleei. În timpul mişcării de flexie, fiind trasă de tendonul rotulian, rotula ia contact progresiv cu întreaga suprafaţă articulară a trohleei şi se înscrie în şanţul trohlean. Traiectul urmat de rotulă în timpul mişcării de flexie nu este rectiliniu, ci concav în afară. Pornind de sus şi uşor din afară, unde este menţinută de contracţia cvadricepsului, rotula coboară spre linia mediană, trece peste linia verticală a trohleei, apoi, odată cu intrarea în şanţul dintre cei doi condili, se îndreaptă din nou în afară, pentru ca la sfîrşitul mişcării de flexie să acopere aproape exclusiv condilul extern. Acest traiect se datoreşte formei deosebite a condilului femural extern, care la partea lui superioară este mai proeminent înainte decît cel

intern și, dimpotrivă, mai puțin dezvoltat la partea lui inferioară.

Contactul dintre suprafața articulară a rotulei și trohleea femurală este, de asemenea, mai complex. La începutul mișcării de flexie rotula ia contact cu trohleea prin treimea sa inferioară ; cînd flexia ajunge la 45°, contactul cu trohleea este făcut de treimea medie a rotulei, iar cînd flexia depășește 60°, contactul este făcut de treimea superioară a rotulei. Schimbarea punctelor de contact evită ca presiunea excesivă să fie suportată de aceeași zonă de cartilaj și ea a determinat împărțirea feței articulare a rotulei în cele trei suprafețe orizontale descrise de *De Palma*. Dar, în același timp, suprafața de sprijin a rotulei reducîndu-se la o treime din totalitatea ei, presiunea care se exercită asupra uneia din cele trei zone se mărește de trei ori.

Contracția cvadricepsului în totalitate deplasează rotula în mod diferit de la individ la individ. *Steindler* credea că rezultanta globală a contracției tuturor celor patru porțiuni ale mușchiului ar trage rotula în sus și în afară. *De Palma, Tavernier, Marion* și *Barcat* credeau că rotula ar fi trasă vertical în sus și interpretau drept patologică orice deplasare a osului în afară. *R. Bouillet* și *Ph. van Graver* au găsit însă că sînt posibile trei variante de mișcare : în 49% din cazuri rotula este trasă în sus și ușor în afară, după direcția axei lungi a diafizei femurale ; în 36% din cazuri este trasă strict vertical, iar în 15% din cazuri este trasă după un traiect vertical sau ușor oblic, la început, și odată ajunsă deasupra trohleei, se îndreaptă în afară și se plasează deasupra condilului extern.

GAMBA

Gamba este segmentul care leagă coapsa de picior. Se întinde de la articulația femuro-tibială la articulația gleznei. Ea reprezintă a doua pîrghie importantă a membrului inferior, prima fiind coapsa.

SCHELETUL GAMBEI

Scheletul gambei este alcătuit din două oase lungi : tibia și peroneul (fig. 199).

Tibia. Situată la partea antero-internă a gambei, tibia este osul cel mai voluminos al acestui segment și prin el se

transmit, de la femur la picior, tensiunile de presiune în poziția ortostatică.

Ca orice os lung, prezintă o extremitate superioară, un corp și o extremitate inferioară.

a) *Extremitatea superioară* este aproximativ de formă patrulateră, alungită transversal și foarte voluminoasă. Prin fața ei superioară participă la formarea articulației femuro-tibiale și a fost descrisă anterior. Sub fața superioară se găsesc două mari tuberozități solidare între ele, *tuberozitatea internă* și *tuberozitatea externă*.

Pe tuberozitatea internă se inseră semimembranosul și capătul distal al ligamentului lateral intern al articulației femuro-tibiale. Pe tuberozitatea externă, la partea ei postero-externă, se găsește *fațeta articulară* pentru articulația cu capul peroneului.

Pe linia mediană, înaintea celor două tuberozități și la partea lor inferioară, se realizează o altă tuberozitate mai mică, tuberozitatea anterioară a tibiei, pe care se inseră tendonul rotulian.

Între tuberozitatea anterioară și fațeta articulară pentru peroneu se găsește a patra proeminență osoasă, mult mai mică însă, denumită tuberculul lui *Gerdy*, pe care se inseră gambierul anterior și tensorul faciei lata.

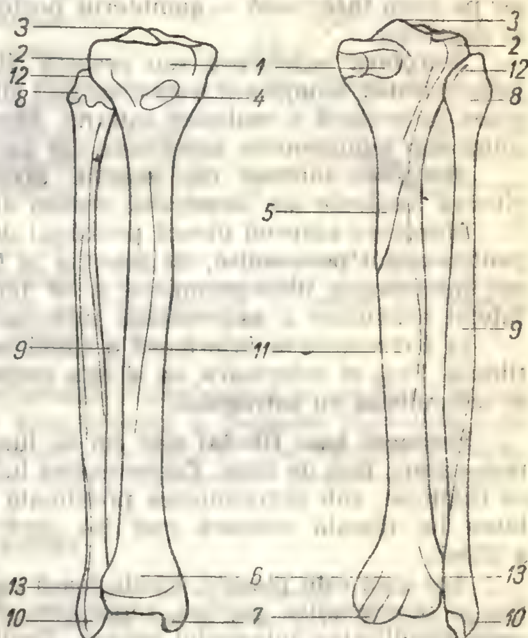


Fig. 199 — Oasele gambei văzute din față (A) și din spate (B) :

1 — condil tibial intern, 2 — condil tibial extern, 3 — spine tibiale, 4 — tuberozitate tibială anterioară, 5 — linia oblică a feței posterioare a tibiei, 6 — extremitatea inferioară a tibiei, 7 — maleolă internă, 8 — cap peroneu, 9 — diafiză peroneu, 10 — maleolă externă, 11 — diafiză tibie, 12 — articulație tibio-peronieră superioară, 13 — articulație tibio-peronieră inferioară.

b) *Corpul tibiei* este prismatic triunghiular și prezintă trei fețe (externă, internă și posterioară) și trei margini (anterioară, internă și externă).

Pe fața *internă* se inseră proximal laba de gîscă, rezultată din unirea aponevrozelor terminale ale semitendinosului, croitorului și dreptului intern (vezi figura 180).

Pe fața *externă*, în cele două treimi superioare, se inseră gambierul anterior, iar pe treimea inferioară alunecă tendoanele extensorilor degetelor.

Fața posterioară prezintă, la unirea treimii superioare cu cele două treimi inferioare, o creastă rugoasă, îndreptată oblic în jos și înăuntru, *linia oblică a tibiei*. Pe buza superioară a liniei oblice se inseră popliteul, pe interstițiu se inseră solearul, iar pe buza inferioară — gambierul posterior și flexorul comun al degetelor.

Marginea anterioară sau *creasta tibială* se întinde de la tuberozitatea anterioară a extremității superioare pînă la marginea anterioară a maleolei interne. Este superficială și proemină sub tegumentele anterioare ale gambei.

Marginea internă dă inserție aponevrozei gambiere și cîtorva fascicule ale flexorului comun al degetelor.

Marginea externă pleacă proximal de sub fațeta articulară pentru capul peroneului, dă inserție în tot lungul ei membranei interosoase tibio-peroniere și se termină distal deasupra fațetei articulare a extremității inferioare a tibiei.

c) *Extremitatea inferioară* a tibiei se continuă cu maleola tibială. Fața ei inferioară, ca și fața externă a maleolei tibiale, se articulează cu astragalul.

Peroneul (sau fibula) este un os lung, subțire, situat postero-extern față de tibie. Extremitatea lui proximală se găsește, ca înălțime, sub extremitatea proximală a tibiei, dar extremitatea lui distală coboară mai jos decît extremitatea distală a tibiei.

Așa cum este plasată, fibula joacă un important rol în statica și biomecanica gambei, reprezentînd elementul care întărește stabilitatea întregului sistem. Dealtfel, însăși denumirea de *fibula* provine de la cuvîntul fibula, adică acul de siguranță cu care se încheiau togile vechilor greci, încă din perioada prehomerică, care au fost apoi împrumutate și de romani.

a) *Extremitatea superioară*, sau capul peroneului, prezintă la partea internă o *suprafață articulară* plană pentru articulația cu tuberozitatea externă a tibiei, iar postero-extern — o proeminență piramidală, *apofiza stiloidă*, pe care se inseră

tendonul bicepsului femural şi ligamentul lateral extern al articulaţiei femuro-tibiale.

b) *Corpul peroneului* este tot prismatic triunghiular şi prezintă, ca şi corpul tibiei, *trei feţe* (internă, externă şi posterioară) şi *trei margini* (anterioară, internă şi externă).

Faţa internă prezintă o lungă creastă longitudinală, *creasta interosoasă*, pe care se inseră membrana interosoasă tibio-peronieră. Înaintea acestei creste se inseră extensorul comun al degetelor, peronierul anterior şi extensorul propriu al halucelui. Înapoia acestei creste se inseră gambierul posterior.

Faţa externă dă inserţie în cele două treimi superioare peronierilor, iar în treimea inferioară prezintă un şanţ pentru alunecarea tendoanelor acestora, *şanţul peronierilor* (fig. 200).

Faţa posterioară dă inserţie proximal solearului, iar în porţiunea mijlocie — flexorului propriu al halucelui.

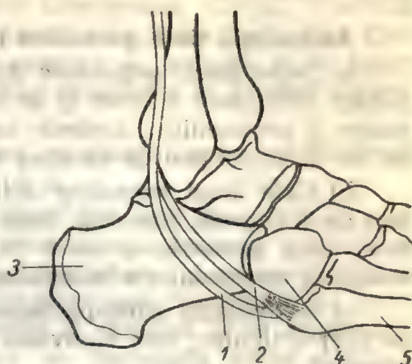


Fig. 200 — Tendoanele peronierilor : 1 — lung peronier, 2 — scurt peronier, 3 — calcaneu, 4 — cuboid, 5 — metatarsianul al V-lea.

c) *Extremitatea inferioară* a peroneului se continuă în jos cu *maleola peronieră*. Faţa internă a maleolei peroniere este articulară şi intră în contact cu tibia şi faţa externă a astragalului. Pe vîrful ei se inseră *ligamentul peroneo-calcanean*.

ARTICULAŢIILE GAMBEI

Cele două oase ale gambei se articulează între ele atît prin extremităţile lor proximale, cît şi prin cele distale, realizînd două articulaţii tibio-peroniere, una superioară şi una inferioară. În plus, ca şi oasele antebraţului, ele sînt unite în tot lungul corpului lor de o membrană interosoasă tibio-peronieră.

Articulaţia tibio-peronieră superioară este o artrodie.

a) *Suprafeţele articulare* sînt date de faţa posterioară a tuberozităţii externe a extremităţii superioare a tibiei şi faţa

internă a capului peroneului. Ambele suprafețe sînt plane și acoperite de un cartilaj hialin de 1—2 mm grosime.

b) Cele două suprafețe articulare sînt menținute în contact de o *capsulă fibroasă*, întărită de *două ligamente* (anterior și posterior).

c) *Sinoviala* tapetează fața interioară a manșonului capsular și în 10% din cazuri comunică cu sinoviala articulației femuro-tibiale.

Articulația tibio-peronieră inferioară este tot o artrodie.

a) *Suprafețele articulare* sînt date de fața externă a extremității inferioare a tibiei și de fața internă a extremității inferioare a peroneului. Ambele suprafețe sînt plate și acoperite de un strat subțire de cartilaj hialin.

b) Cele două suprafețe articulare sînt menținute în contact de o *capsulă fibroasă*, întărită de *3 ligamente*, unul anterior, unul posterior și unul intraarticular, interosos, care se continuă proximal cu membrana interosoasă tibio-peronieră.

c) Articulația tibio-peronieră inferioară nu prezintă nici cartilaj articular, nici sinovială ; *este o articulație strict ligamentară.*

Membrana interosoasă tibio-peronieră. Între cele două oase ale gambei, unite la extremitățile lor prin articulațiile tibio-peroniere, se formează un spațiu oblung oval, *spațiul interosos*, în care se întinde membrana interosoasă.

Membrana interosoasă se inseră în afară pe creasta interosoasă de pe fața internă a peroneului și înăuntru pe marginea externă a tibiei. Este formată din fascicule orientate oblic în jos și în afară, de la tibie la peroneu.

Împreună cu cele două oase, membrana interosoasă împarte gamba într-o lojă anterioară și una posterioară. Pe fața ei anterioară se inseră gambierul anterior, extensorul comun al degetelor și extensorul propriu al halucelui. Pe fața ei posterioară se inseră gambierul posterior și flexorul peronier al degetelor.

MUȘCHII GAMBEI

Gamba prezintă un număr de 12 mușchi, dispuși în trei loje : anterioară, externă și posterioară.

Mușchii lojei anterioare se găsesc în fața membranei interosoase și a celor două oase ale gambei și sînt în număr de patru : gambierul anterior, extensorul comun al degetelor, extensorul propriu al halucelui și peronierul anterior.

a) *Gambierul anterior* este un mușchi voluminos, de formă prismatic-triunghiulară. Se inseră proximal pe tuberozitatea externă a tibiei, pe tuberculul lui *Gerdy*, pe cele două treimi superioare ale feței externe a tibiei și pe partea supero-internă a feței anterioare a membranei interosoase. Corpul muscular se continuă ca un tendon puternic, care trece prin fața gleznei, pe sub ligamentul inelar anterior al tarsului și se inseră distal pe fața internă a primului cuneiform și a bazei primului metatarsian.

Cînd ia punct fix pe tibie, gambierul anterior flectează, adduce și rotează înăuntru piciorul.

b) *Extensorul comun al degetelor* este un mușchi aplatizat. Se inseră proximal pe tuberozitatea externă a tibiei, pe cele două treimi superioare ale feței interne a peroneului și pe partea externă a membranei interosoase. Tendonul lui trece pe sub ligamentul inelar anterior al tarsului și se împarte în patru tendoane secundare, care se îndreaptă către ultimele 4 degete. Fiecare tendon secundar, cînd ajunge la nivelul degetului respectiv, se împarte în cîte o languetă mediană, care se inseră pe fața dorsală a bazei falangei a doua, și în cîte două languete laterale, care se inseră pe fața dorsală a falangei a treia.

Cînd ia punct fix pe gambă, extensorul comun al degetelor este un extensor al ultimelor 4 degete pe picior, și flexor, abductor și rotator extern al piciorului pe gambă.

c) *Extensorul propriu al halucelui* se găsește între primii doi mușchi și se inseră proximal pe treimea mijlocie a feței interne a peroneului și pe partea corespunzătoare a membranei interosoase. Tendonul lui distal trece și el pe sub ligamentul inelar anterior al tarsului și se îndreaptă spre haluce, pe a cărui falangă se inseră distal.

Cînd ia punct fix pe gambă, extensorul propriu al halucelui este extensor al halucelui pe picior și flexor, adductor și rotator intern al piciorului pe gambă. Din punct de vedere al acțiunii lui asupra piciorului, este sinergist al gambierului anterior.

d) *Peronierul anterior*, cel mai extern mușchi al lojei anterioare, se inseră proximal pe jumătatea inferioară a feței anterioare a peroneului, tendonul lui trece, de asemenea, pe sub ligamentul inelar anterior al tarsului și se termină distal pe baza celui de al cincilea metatarsian.

Cînd ia punct fix pe gambă, peronierul anterior este flexor, abductor și rotator în afară al piciorului pe gambă, deci un sinergist al extensorului comun al degetelor, al cărui fascicul extern poate fi considerat.

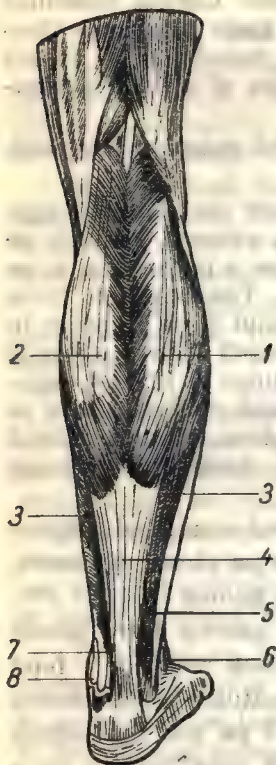


Fig. 201 — Mușchii posteriori ai gambei :

1 — gastrocnemian extern, 2 — gastrocnemian intern, 3 — solear, 4 — tendonul lui Ahile, 5 — lung flexor al halucelui, 6 — peronierii, 7 — flexor comun degete, 8 — gambier posterior.

Mușchii lojei externe, lungul peronier lateral și scurtul peronier lateral (fig. 201, 6), se găsesc în teritoriul situat imediat în afara peroneului.

a) *Lungul peronier lateral* este mușchiul cel mai superficial. Se inseră proximal pe fața externă și pe marginea anterioară și externă a peroneului. Se continuă cu un tendon lung și puternic, care coboară înapoia maleolei externe, o înconjură, se îndreaptă spre mijlocul marginii externe a piciorului trece pe fața inferioară a scheletului piciorului, pe care o străbate oblic înainte și înăuntru, și se termină pe tuberculul extern al bazei primului metatarsian (vezi figura 200, 1).

Cînd ia punct fix pe peroneu, lungul peronier lateral este extensor, abductor și rotator în afară al piciorului pe gambă. Participă la susținerea bolții plantare, motiv pentru care *Lelievre* l-a denumit *„paznicul bolții plantare"*. Împreună cu tendonul gambierului anterior, care se inseră aproximativ în același lor, realizează o veritabilă chingă ce susține bolta piciorului.

b) *Scurtul peronier lateral* este situat sub lungul peronier lateral. Se inseră proximal pe cele două treimi inferioare ale feței externe și pe mar-

ginea anterioară şi marginea externă a peroneului. Tendonul lui coboară tot prin spatele maleolei externe, dublînd tendonul lungului peronier, pe care-l însoţeşte pînă la marginea externă a piciorului, unde se termină însă pe baza celui de al cincilea metatarsian (vezi figura 200, 2 şi figura 201, 6).

Muşchii lojei posterioare, în număr de 6 : tricepsul sural, plantarul subţire, popliteul, gambierul posterior, flexorul comun al degetelor şi flexorul propriu al halucelui (vezi figura 201) se găsesc înapoia membranei interosoase şi a celor două oase ale gambei.

a) *Tricepsul sural*, cel mai voluminos muşchi al gambei, este alcătuit din 3 fascicule : gemenul extern, gemenul intern şi solearul, care se reunesc într-un tendon comun, *tendonul lui Ahile.*

— *Gemenul extern* (gastrocnemianul extern) se inseră proximal pe faţa postero-externă a condilului femural extern (fig. 201, 1).

— *Gemenul intern* (gastrocnemianul intern) se inseră proximal pe faţa postero-internă a condilului femural intern (fig. 201, 2).

— *Solearul* este un muşchi lat şi gros, situat înaintea celor 2 gemeni (fig. 201, 3). Se inseră proximal atît pe tibie, cît şi pe peroneu, realizînd astfel între linia oblică a tibiei şi capul peroneului o veritabilă arcadă, *arcada solearului.*

Toate cele 3 fascicule musculare converg către un tendon unic, care le continuă direcţia, tendonul lui Ahile ; acesta trece prin spatele articulaţiei tibio-astragaliene şi se inseră pe jumătatea inferioară a feţei posterioare a calcaneului (fig. 201, 4). Tendonul lui Ahile este cel mai voluminos tendon al corpului omenesc şi măsoară 5—6 cm în lungime, 1,2—1,5 cm în lăţime şi 0,50—0,60 cm în grosime. Denumirea provine din faptul că Ahile, după cum spune legenda, era vulnerabil numai în această regiune, slăbiciune cunoscută de Paris, care l-a lovit cu suliţa tocmai în acest loc şi l-a doborît.

Într-adevăr, acţiunea tricepsului sural prin intermediul tendonului lui Ahile are o importanţă capitală în aceste acţiuni motorii. Cînd ia punct fix pe inserţiile superioare, tricepsul sural este flexor plantar al piciorului pe gambă şi în mod accesoriu — prin cei 2 gemeni — un flexor al gambei pe coapsă. În poziţia ortostatică, el îşi ia punct fix pe calcaneu, nu lasă gamba să se flecteze pe picior şi, în mod accesoriu, ajută la menţinerea poziţiei de extensie a genunchiului.

b) *Plantarul subțire* este un mușchi filiform, situat la partea internă a tendonului lui Ahile, pe care-l dublează. Se inseră proximal pe condilul extern al femurului, împreună cu tendonul gemenului extern, se îndreaptă oblic în jos și înăuntru și, coborînd pe lîngă marginea internă a tendonului lui Ahile, se inseră distal fie pe acest tendon, fie pe fața posterioară a calcaneului. Plantarul subțire este flexor plantar al piciorului pe gambă, deci un sinergist al tricepsului sural.

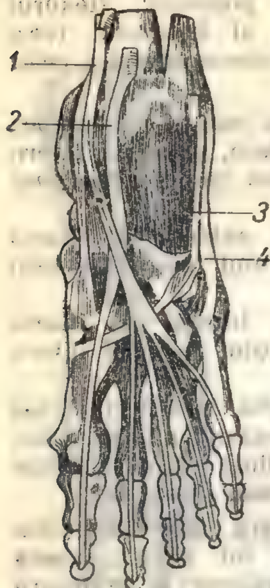


Fig. 202 — Tendoanele regiunii plantare : 1 — flexor comun degete, 2 — flexor propriu haluce, 3 — lung peronier, 4 — scurt peronier. Deoarece lungul peronier (3) trece transversal pe sub bolta plantară, pe care o susține, a fost denumit „păzitorul bolții plantare".

c) *Popliteul* este scurt, plat, are o formă triunghiulară și este situat pe fața posterioară a articulației femurotibiale, înaintea gemenilor și plantarului subțire. Se inseră proximal pe condilul femural extern, se îndreaptă oblic în jos și înăuntru și se inseră pe fața posterioară a tibiei, deasupra liniei oblice a tibiei, și pe buza superioară a acestei linii.

Popliteul este flexor și rotator înăuntru al gambei pe coapsă.

d) *Flexorul comun al degetelor* (flexorul tibial) se inseră proximal pe buza inferioară a liniei oblice a tibiei și pe treimea mijlocie a feței posterioare a tibiei, apoi coboară și se continuă cu un tendon care înconjură maleola internă, după care își schimbă direcția, îndreptîndu-se înainte în regiunea plantară, unde se împarte în patru tendoane terminale spre ultimele 4 degete, inserîndu-se pe bazele ultimelor falange (fig. 202, 1).

Cînd ia punct fix pe tibie, este flexor al ultimelor 4 degete pe picior și extensor al piciorului pe gambă. Cînd ia punct fix pe degete, în poziție ortostatică, susține gamba să nu se flecteze pe picior. Flexorul comun al degetelor este, deci, prin ultima lui acțiune, un sinergist al tricepsului sural.

e) *Flexorul lung al halucelui* (flexorul peronier) se inseră proximal pe cele două treimi inferioare ale feței posterioare a

peroneului și pe partea corespunzătoare a membranei interosoase tibio-peroniere și se continuă cu un lung tendon care alunecă pe fața posterioară a extremității inferioare a tibiei, pe fața posterioară a astragalului, pe fața internă a calcaneului și ajunge în regiunea plantară. Aici se îndreaptă oblic înainte și înăuntru, încrucișează tendonul flexorului comun, cu care se unește printr-o ramură de bifurcație și ajunge să se insere distal pe baza celei de a doua falange a halucelui (fig. 202, 2).

Cînd ia punct fix pe peroneu, este flexor al falangelor halucelui și al celorlalte degete (prin ramura de bifurcație pe care o trimite flexorului comun), precum și un extensor (flexor plantar) al piciorului pe gambă. Cînd ia punct fix pe inserțiile distale, în poziția ortostatică, susține gamba să nu se flecteze pe picior. Flexorul comun al halucelui este, deci, prin ultima lui acțiune, un sinergist al tricepsului sural și al flexorului propriu.

f) *Gambierul posterior* (tibialul posterior) este situat profund între cei doi flexori, imediat înapoia membranei interosoase. Se inseră proximal pe buza inferioară a liniei oblice a tibiei, pe fața posterioară a tibiei, pe cele două treimi superioare ale membranei interosoase și pe fața internă a peroneului, înapoia crestei interosoase. Tendonul lui se îndreaptă înăuntru, încrucișează tendonul flexorului comun, trece pe marginea internă a acestuia, alunecă înapoia maleolei interne, pe care o înconjură și se inseră distal pe tuberculul scafoidului.

Cînd ia punct fix pe gambă, este extensor, adductor și rotator înăuntru al piciorului pe gambă. Cînd ia punct fix pe scafoid, în poziție ortostatică, susține gamba să nu se flecteze pe picior. Gambierul posterior este, deci, prin ultima lui acțiune, un sinergist al tricepsului sural, al flexorului comun și al flexorului lung al halucelui.

STATICA GAMBEI

În poziție ortostatică, gamba, a cărei axă longitudinală prelungește axa biodinamică a coapsei, transmite greutatea corpului la picior. Transmiterea se face prin tibie, axa lungă a acestui os suprapunîndu-se cu axa biomecanică a gambei (vezi figura 175). De aceea sistemele trabeculare osoase principale sînt orientate perpendicular.

BIOMECANICA GAMBEI

Cînd membrul inferior acţionează ca un lanţ cinematic închis, cu piciorul fixat pe sol, ca în statică, mers, alergare, momentul bătăii în săritură, cădere de la înălţime etc., segmentul gambei se comportă ca o pîrghie de gradul I, cu punctul de sprijin la mijloc, deci ca o pîrghie de sprijin (fig. 203). Funcţia mecanică a pîrghiei se deduce din formula de echilibru.

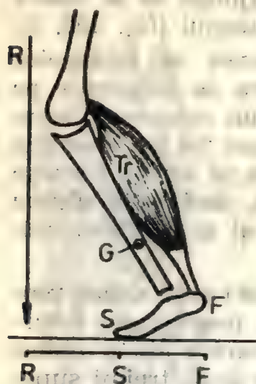


Fig. 203 — Membrul inferior acţionează ca un lanţ cinematic închis, iar gamba ca o pîrghie de sprijin (gradul I). Tr-triceps sural, R-rezistenţa, S-punctul de sprijin, F-forţa motorie a extensorilor piciorului, G-centrul de greutate al cuplului cinematic picior-gambă.

$$F.L. = R.r. \text{ sau } \frac{F.l.}{R.r.} = 1$$

$$\text{sau } F = \frac{R.r.}{l}$$

în care F=forţa de acţiune a flexorilor piciorului pe gambă (flexorii plantari), R=greutatea corpului, de exemplu, 70 kg, r=braţul rezistenţei (RS), de exemplu, egal cu 10 cm, iar l=braţul forţei (SF), de exemplu, egal cu 22 cm.

Deci, în aceste condiţii, forţa necesară menţinerii echilibrului pîrghiei este:

$$F = \frac{70 \times 10}{22} = 31,81 \text{ kgf.}$$

Dacă la forţa minimă necesară menţinerii echilibrului pîrghiei se adaugă gretatea corpului, tibia va suporta 31,81+70=101,81 kg. Aceasta în statică. Valorile se măresc însă impresionant, atunci cînd se execută mişcarea de propulsie din cadrul pasului la mers, care presupune ruperea echilibrului şi învingerea forţelor gravitaţionale, ceea ce impune ca extensorii piciorului pe gambă să acţioneze cu o forţă care depăşeşte 500 kg. Pentru a se realiza propulsia în momentul bătăii la săritură, forţa depăşeşte 1 000 kg, iar în momentul căderii pe sol, forţele care se exercită asupra tibiei pot depăşi 2 000 kg.

Cînd membrul inferior acţionează ca un lanţ cinematic deschis, gamba acţionează ca o pîrghie de gradul III şi permite

mobilizarea genunchiului şi a gleznei (fig. 204). În aceste condiţii piciorul nu este fixat la sol, punctul de aplicare al forţei se află la mijloc, deci gamba acţionează ca o pîrghie de viteză (fig. 205). Forţa, F, cu care poate activa cuplul cinematic gambă-picior, poate fi determinată prin formula :

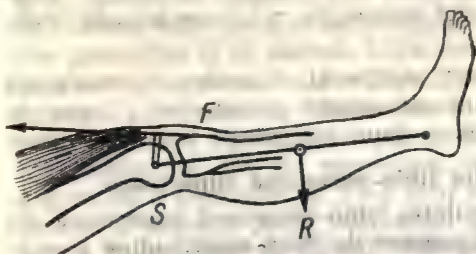


Fig. 204 — Gamba acţionează ca o pîrghie de gradul III.

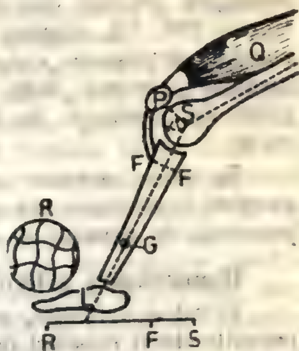


Fig. 205 — Membrul inferior acţionează ca un lanţ cinematic deschis, iar gamba ca o pîrghie de viteză (gradul III).

Q — cvadriceps, P — rotulă, S — punctul de sprijin, F — forţa motorie a extensorilor gambei pe coapsă, R — rezistenţa, PS — braţ de pîrghie virtual, alfa-unghiul braţului de pîrghie virtual. L — piciorul, G — centrul de greutate al cuplului cinematic picior-gambă.

$$F = R \frac{SL}{SF_1 \cdot \sin alfa} = 4{,}500 \frac{47}{8 \times 1} = 26{,}437 \text{ kgf.}$$

în care R = greutatea însumată a piciorului + gambă + obiectul eventual lovit, de exemplu în lovirea unei mingi 1,050 + 3,090 + 0,360 = 4,500 kg, SL = lungimea cuplului cinematic picior-gambă = 47 cm, SF_1 = lungimea braţului forţei = 8 cm, alfa = 90°, deci sin alfa = 1.

La rezultante de 26,437 kgf se adaugă însă forţa de contracţie a extensorilor gambei pe coapsă, care depăşeşte 140 kg, precum şi valorile acceleraţiei uniforme rezultate din pendularea gambei înainte. Rezultă că o minge de fotbal poate fi

lovită cu o forță de aproximativ 200 kg, chiar de către un individ neantrenat și care nu dispune de o tehnică deosebită.

Indiferent dacă membrul inferior acționează ca un lanț cinematic închis sau deschis, punctul principal de aplicare al forțelor este reprezentat de centrul de greutate al cuplului cinematic picior-gambă, centru care se găsește situat imediat deasupra treimii distale a gambei (vezi figura 203, G și figura 205, G). Atunci cînd suprasolicitarea (în special cea de rotație) depășește valorile de rezistență a tibiei, ea se fracturează. Aceasta este explicația frecvenței localizării focarului de fractură la nivelul respectiv prin mecanisme indirecte.

În afara acestor acțiuni statice și chinetice, biomecanica gambei mai cunoaște și un alt aspect caracteristic, legat de prezența la nivelul ei a celor două articulații tibio-peroniere.

Biomecanica articulației tibio-peroniere superioare.

Fiind o artrodie, articulația tibio-peronieră superioară nu permite decît mișcări de alunecare de mică amplitudine a celor două suprafețe articulare una față de cealaltă. Aceste mișcări minime nu contribuie cu nimic la dinamica articulației femuro-tibiale, dar sînt indispensabile dinamicii articulațiilor tibio-peroniere inferioare și gleznei, de care sînt funcțional strîns legate.

Biomecanica articulației tibio-peroniere inferioare.

Articulația tibio-peronieră inferioară intervine în mișcările de flexie și extensie ale piciorului pe gambă. În timpul acestor mișcări, mosorul astragalian rulează înainte și înapoi pe fața articulară a pensei tibio-peroniere. Corpul astragalului nu are însă o lățime uniformă, el fiind mai lat anterior decît posterior.

Cînd piciorul se găsește la unghi drept față de gambă, pensa tibio-peronieră se găsește în situația de repaus, fiind în contact cu partea posterioară mai îngustă a mosorului astragalian. Cînd însă piciorul începe să se flecteze dorsal, astragalul alunecă dinainte înapoi și în pensa tibio-astragaliană pătrunde partea anterioară, mai lată, a mosorului astragalian, care împinge ambele maleole lateral, ca un ic, țintind să depărteze astfel extremitatea inferioară a peroneului de cea a tibiei. Cînd se revine la poziția inițială, deci piciorul face mișcarea de flexia plantară, partea anterioară, mai lată, a mosorului astragalian părăsește pensa tibio-peronieră, în care revine partea posterioară, mai îngustă, a mosorului astragalian.

În aceste condiții și extremitatea inferioară a peroneului tinde să se reapropie de extremitatea inferioară a tibiei.

Articulația tibio-peronieră inferioară, care este o articulație ligamentară, fără cartilaj articular și fără sinovială, permite aceste deplasări laterale și aceste reveniri ale extremității inferioare a peroneului. Ea permite deci adaptarea funcțională a diametrului transversal al pensei tibio-peroniere la diametrul transversal schimbător al mosorului astragalian.

Rolul ligamentelor articulației tibio-peroniere inferioare, și în special al ligamentului interosos, este acela de a menține în contact cele două extremități ale oaselor gambei în mișcările piciorului și în statică. Ligamentele trebuie să fie suficient de rezistente pentru a învinge forțele care tind să depărteze cele două extremități inferioare ale oaselor gambei, cînd greutatea corpului apasă, prin pensa tibio-peronieră, pe astragal. Ele trebuie să fie, de asemenea, suficient de elastice pentru a permite o distensie de 1—2 mm și revenirea la normal, deci pentru a permite jocul normal al lărgirii și îngustării diametrului transversal al pensei tibio-peroniere.

Leziunea lor atrage o îndepărtare a celor două extremități și instalarea *diastazisului tibio-peronier*, care tulbură grav funcția gleznei.

GLEZNA ȘI PICIORUL

Vom îngloba într-un capitol comun glezna și piciorul, deoarece ele alcătuiesc un tot funcțional. Situația este identică cu cea întîlnită la gîtul mîinii și mîna.

Piciorul reprezintă — după coapsă și gambă — a treia pîrghie principală a membrului inferior. Fiind o pîrghie terminală, el reprezintă punctul de legătură dintre corpul omenesc și sol în timpul acțiunilor biomecanice curente (statică, mers, alergare etc.). Structura piciorului s-a adaptat funcțiilor complexe care-i revin.

Piciorul trebuie privit ca o structură complexă, alcătuită din diferite formațiuni anatomice interdependente. Scheletul este format din 26 de oase scurte (în afară de oasele sesamoide și eventualele oase suplimentare), care se îmbină într-un minunat sistem arhitectonic, fiind legate între ele ori menținute prin ligamente sau formațiuni fibroase, relativ scurte, dar foarte puternice, care realizează astfel 32 de articulații. Diversele segmente osoase primesc inserțiile a 11 mușchi ai

gambei (din cei 12 pe care îi are) şi încă a 20 de muşchi proprii ai piciorului.

Dată fiind complexitatea arhitecturală şi funcţională a piciorului, G. *Hohmann* a afirmat, pe bună dreptate, că „piciorul este una din operele de artă ale naturii".

SCHELETUL GLEZNEI ŞI AL PICIORULUI

Cele 26 de oase scurte care alcătuiesc scheletul piciorului sînt dispuse în trei grupe distincte şi anume : 7 oase tarsiene, 5 oase metatarsiene şi 14 falange (fig. 206 şi fig. 207).

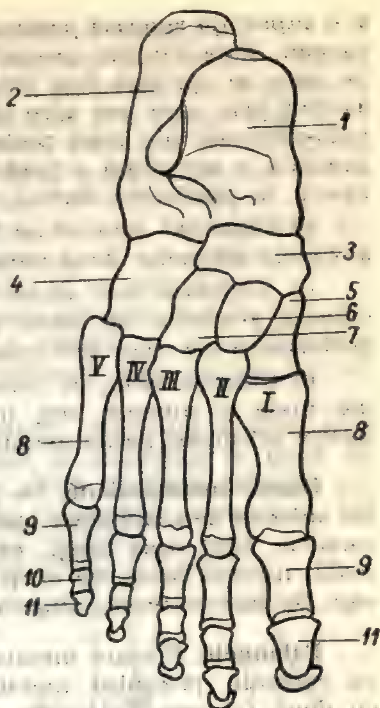
Oasele tarsiene. Cele 7 oase tarsiene sînt astragalul, calcaneul (care alcătuiesc tarsul posterior), scafoidul, cele 3 oase cuneiforme şi cuboidul (care alcătuiesc tarsul anterior).

a) *Astragalul* este situat între pensa bimaleolară ţibio-peronieră şi calcaneu. Este alcătuit posterior dintr-un *corp*, care reprezintă mai mult de 4/5 din os, un *gît* scurt şi anterior dintr-un *cap* rotunjit. Faţa lui superioară este reprezentată de mosorul astragalian, ca un şanţ median puţin adîncit şi două versante, care se articulează cu tibia şi peroneul. Faţa lui inferioară prezintă două *faţete articulare* pentru calcaneu — una antero-internă, alta postero-externă. Faţa externă a astragalului se articulează superior cu peroneul, iar distal prezintă o *apofiză* pentru inserţia ligamentului peroneo-astragalian anterior. Faţa internă se articulează superior cu maleola ţibială, iar distal prezintă o *suprafaţă rugoasă* pentru inserţia ligamentului lateral intern al gleznei. Faţa anterioară a capului astragalian este rotunjită şi se articulează cu cavitatea glenoidă a scafoidului. Faţa posterioară prezintă la partea ei internă un *şanţ*, prin care alunecă flexorul propriu al halucelui. Buza externă a şanţului, mai accentuată, rezultă din unirea osului trigon al lui *Bardeleben* cu astragalul. Pe ea se inseră ligamentul peroneo-astragalian posterior al gleznei şi ligamentul posterior al articulaţiei astragalo-calcaneene

b) *Calcaneul* este cel mai voluminos os al tarsului şi se găseşte situat sub astragal. Faţa lui superioară (faţa articulară) prezintă două *faţete articulare* pentru astragal — una antero-internă şi alta postero-externă. Faţa lui inferioară (faţa de sprijin) este neregulată şi prezintă trei tuberozităţi, două posterioare, pentru inserţia aponevrozei plantare superficiale, şi una anterioară. Faţa externă prezintă un *tubercul*, două *şanţuri* prin care alunecă tendoanele scurtului şi lungului peronier

Fig. 206 — Oasele piciorului văzute de sus :

1 — astragal, 2 — calcaneu, 3 — scafoid, 4 — cuboid, 5 — prim cuneiform, 6 — al doilea cuneiform, 7 — al treilea cuneiform, 8 — metatarsienele, 9 — falangele proximale, 10 — falangele mijlocii, 11 — falangele distale.



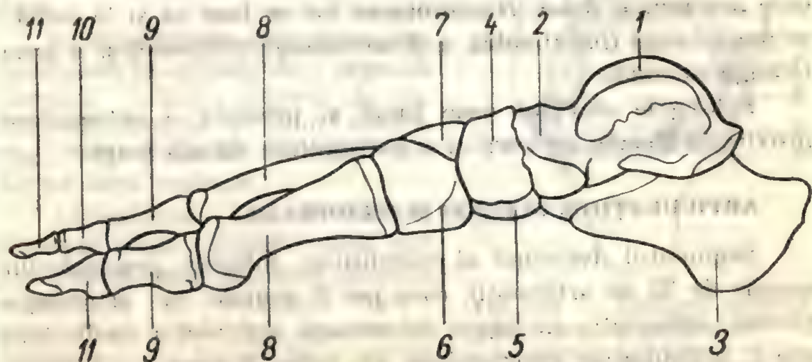


Fig. 207 — Oasele piciorului văzute din profil (față internă) :

1 — mosorul astragalian, 2 — capul astragalului, 3 — calcaneu, 4 — scafoid, 5 — cuboid, 6 — prim cuneiform, 7 — al doilea cuneiform, 8 — metatarsienele, 9 — falange proximale, 10 — falange mijlocii, 11 — falange distale.

şi o *suprafaţă rugoasă* pentru inserţia ligamentului peroneo-calcanean. Faţa internă prezintă o *apofiză (sustentaculum tali)*, pe care se sprijină faţa internă a astragalului şi numeroase şanţuri prin care trec spre plantă tendoanele şi pachetele vasculo-nervoase ale lojei posterioare a gambei. Faţa anterioară prezintă o suprafaţă articulară pentru cuboid. Pe faţa posterioară, în jumătatea distală, se inseră tendonul lui Ahile.

c) *Cuboidul* este situat înaintea calcaneului, între acesta şi bazele ultimelor două metatarsiene.

d) *Scafoidul* este situat medial faţă de cuboid. Se articulează posterior cu capul astragalului şi anterior cu feţele posterioare ale celor trei cuneiforme.

e) *Cuneiformele*, în număr de trei, au forma unor colţuri (de unde şi numele lor), introduse între scafoid, cuboid şi bazele ultimelor patru metatarsiene.

Oasele metatarsiene. De pe faţa anterioară a oaselor tarsului anterior se răspîndesc înainte şi în evantai cele cinci metatarsiene. Sînt oase lungi, care prezintă o extremitate proximală, numită bază, un corp şi o extremitate distală, numită cap. Se numerotează, dinăuntru în afară, de la 1 la 5.

Falangele. Fiecare metatarsian se continuă cu trei falange, cu excepţia primului metatarsian, care se continuă numai cu două falange. Falangele alcătuiesc scheletul degetelor piciorului. Fiecare deget are astfel trei falange, afară de haluce, care are numai două. Numerotarea lor se face ca şi la mînă : prima falangă (proximală), a doua falangă (mijlocie) şi a treia falangă (distală).

Falangele sînt tot oase lungi şi prezintă o extremitate proximală (bază), un corp şi o extremitate distală (cap).

ARTICULAŢIILE GLEZNEI ŞI PICIORULUI

Segmentul terminal al membrului inferior prezintă un număr de 32 de articulaţii, care pot fi grupate în : articulaţia gleznei, articulaţia astragalo-calcaneană, articulaţia medio-tarsiană, articulaţiile intertarsiene ale celor 5 oase ale tarsului anterior, articulaţiile tarso-metatarsiene, articulaţiile intermetatarsiene, articulaţiile metatarso-falangiene şi articulaţiile interfalangiene.

Articulaţia gleznei este o articulaţie trohleană.

a) Suprafeţele articulare sînt reprezentate, pe de o parte, de pensa tibio-peronieră şi, pe de altă parte, de faţa superioară şi părţilor superioare ale feţelor laterale ale astragalului.

Feţele articulare ale astragalului realizează un mosor, cu un şanţ central, două versante şi două margini. Şanţul mosorului nu este strict antero-posterior, ci oblic înainte şi în afară cu 30° faţă de planul sagital. Rezultă că mişcările nu vor fi efectuate strict antero-posterior, ci uşor oblic, vîrful piciorului ajungînd în flexie dorsală şi în adducţie.

Suprafaţa articulară a tibiei este reprezentată de faţa inferioară a extremităţii inferioare a acestui os şi de faţa externă a maleolei tibiale, care realizează prin unirea lor un unghi diedru.

Suprafaţa articulară a extremităţii inferioare a tibiei este patrulateră, concavă dinainte înapoi şi împărţită în două de o creastă antero-posterioară. Cele două porţiuni laterale ale sale intră în contact cu versantele mosorului astragalian, iar creasta antero-posterioară intră în şanţul mosorului.

Suprafaţa externă a maleolei interne este plană şi intră în contact cu faţa internă a astragalului.

Toate aceste suprafeţe articulare sînt acoperite de un cartilaj hialin de 1,5—2 mm grosime.

b) Suprafeţele articulare sînt menţinute în contact de o capsulă fibroasă, întărită lateral de un ligament intern şi unul extern (fig. 208). Capsula fibroasă are forma unui manşon.

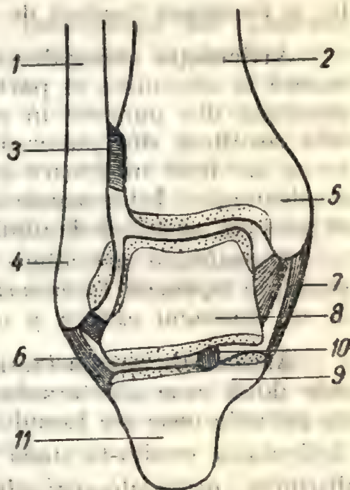


Fig. 208 — Secţiune frontală prin gleznă şi postpicior : 1 — peroneu, 2 — tibie, 3 — ligament interosos, 4 — maleolă externă, 5 — maleolă internă, 6 — ligament lateral extern, 7 — ligament lateral intern, 8 — astragal, 9 — sustentaculum tali, 10 — ligament interosos astragalo-calcanean, 11 — calcaneu.

Ligamentul lateral intern prezintă două straturi, unul superficial şi unul profund. Stratul superficial are o formă triunghiulară şi se numeşte *ligamentul deltoidian*. Se inseră prin vîrful lui pe vîrful maleolei interne şi prin baza lui pe o suprafaţă întinsă, care cuprinde dinapoi înainte tuberculul feţei interne a

astragalului, apofiza feței interne a calcaneului, fața internă a gîtului astragalului și fața superioară a scafoidului. Stratul profund este alcătuit dintr-un ligament puternic, care se întinde de la vîrful maleolei interne la fața internă a astragalului.

Ligamentul lateral extern este alcătuit din trei fascicule independente, unul anterior *(ligamentul peroneo-astragalian anterior)*, unul mijlociu *(ligamentul peroneo-calcanean)* și unul posterior *(ligamentul peroneo-astragalian posterior)*. Numele acestora indică situația și locurile lor de inserție. În cursul diverselor mișcări, fasciculele ligamentului sînt supuse la tensiuni diferite. În poziție intermediară, numai fasciculele mijlocii sînt întinse. În flexia dorsală a piciorului se întind fasciculele posterioare, iar în flexia plantară se întind fasciculele anterioare. Ultimele fascicule sînt mai frecvent interesate în entorsele piciorului, de unde vine și numele de *ligamentul entorsei*.

c) Sinoviala tapisează fața interioară a manșonului capsular și formează funduri de sac.

Articulația astragalo-calcaneană este o dublă artrodie deoarece la alcătuirea ei participă două articulații separate : una rezultată din punerea în contact a fațetelor antero-interne și alta rezultată din punerea în contact a fațetelor postero-externe ale feței inferioare a astragalului și ale feței superioare a calcaneului. Între aceste două articulații astragalo-calcaneene se găsește un tunel denumit *sinus tarsi*.

Suprafețele articulare sînt menținute în contact de un puternic *ligament interosos*, situat în sinus tarsi (fig. 208, 10), de un *ligament extern* și un *ligament posterior*.

Articulația medio-tarsiană (articulația lui Chopart) unește cele două oase ale tarsului posterior, astragalul și calcaneul, cu primele oase ale tarsului anterior, cu scafoidul și cuboidul. Articulația medio-tarsiană este alcătuită din două articulații distincte : *astragalo-scafoidiană* (internă) și *calcaneo-cuboidiană* (externă).

Articulația astragalo-scafoidiană este o enartroză, alcătuită din capul astragalului și cavitatea glenoidă a feței posterioare a scafoidului, mărită de un fibro-cartilaj, denumit *ligamentul calcaneo-scafoidian inferior*, deoarece se termină pe mica apofiză a calcaneului.

Articulația calcaneo-cuboidiană este o articulație prin îmbucare reciprocă și este alcătuită din fața anterioară a calcaneului și fața posterioară a cuboidului.

Ambele articulații sînt menținute în contact fiecare de cîte un *ligament superior* și un *ligament inferior* și în plus de un ligament comun, numit *ligamentul în Y*. Ultimul, cel mai important ligament al articulației medio-tarsiene, se inseră pe partea cea mai anterioară a feței superioare a calcaneului, se îndreaptă înainte și se bifurcă într-un *fascicul intern*, care se inseră pe fața postero-externă a scafoidului, și într-un *fascicul extern*, care se inseră pe fața dorsală a cuboidului.

Articulațiile intertarsiene ale celor 5 oase ale tarsului anterior rezultă din articularea scafoidului cu cuboidul *(articulația scafo-cuboidiană)*, a scafoidului cu cele 3 oase cuneiforme *(articulația scafo-cuneană)*, a celor 3 oase cuneiforme între ele *(articulațiile intercuneene)* și a cuboidului cu al treilea cuneiform *(articulația cuboido-cuneană)*. În total sînt cinci articulații intertarsiene, toate artrodii.

Articulația tarso-metatarsiană (articulația lui Lisfranc) unește cuboidul și cele 3 oase cuneiforme cu bazele celor 5 metatarsiene. Baza primului metatarsian vine în contact cu primul os cuneiform, baza celui de al doilea și al treila metatarsian cu cele trei oase cuneiforme, baza celui de al patrulea și al cincilea metatarsian cu fața anterioară a cuboidului.

Interlinia articulară are o formă neregulată, aproximativ curbă, cu concavitatea înapoi și înăuntru. Toate articulațiile sînt artrodii, suprafețele articulare fiind menținute în contact de o serie de *ligamente interosoase, ligamente dorsale* și *ligamente plantare*.

Articulațiile intermetatarsiene. Ultimele 4 metatarsiene se unesc între ele, prin bazele lor, prin trei artrodii, iar prin capetele lor — printr-o bandeletă fibroasă transversală, numită *ligamentul transvers al metatarsului.*

Articulațiile metatarso-falangiene sînt articulații condiliene, realizate de capul rotunjit al metatarsienelor și de baza falangelor proximale, care prezintă fiecare cîte o cavitate glenoidă, mărită în jos și înapoi de un fibro-cartilaj. Extremitățile osoase sînt legate de o capsulă întărită de cîte două ligamente laterale.

Articulațiile interfalangiene sînt articulații trohleene. În linii mari, dispoziția segmentelor osoase și structura articulațiilor piciorului respectă dispoziția și structura mîinii. Deosebirea principală constă în aceea că halucele nu dispune de aceeași mobilitate și nu poate executa mișcarea de opoziție.

Aponevroza plantară. Întreaga structură arhitecturală a piciorului este susținută de două formațiuni fibroase complexe, situate în plantă, numite *aponevroza plantară superficială* și *aponevroza plantară profundă*.

Dintre acestea, aponevroza plantară superficială este cea mai importantă. În totalitate, ea are o formă triunghiulară, cu vîrful spre calcaneu și cu baza spre degetele picioarelor, întinzîndu-se deci între extremitățile regiunii plantare. Pe calcaneu se inseră pe cele două tuberozități (internă și externă) ale feței inferioare ale acestuia. Pe degete se inseră, prin cinci bandelete divergente, pe fața dorsală a articulațiilor metatarso-falangiene, nivel la care fuzionează cu teaca fibroasă a extensorilor degetelor.

Aponevroza plantară superficială este foarte rezistentă și contribuie la menținerea bolții plantare în poziția ortostatică. (fig. 209).

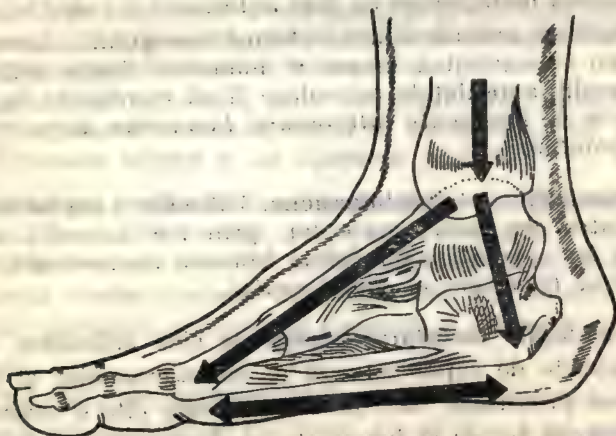


Fig. 209 — Sub greutatea corpului, bolta longitudinală a piciorului tinde să se aplatizeze și pune sub tensiune aponevroza plantară.

MUŞCHII PICIORULUI

Asupra piciorului intervin toţi muşchii gambei şi în plus un număr de 20 de muşchi proprii ai piciorului. Aceştia din urmă sînt dispuşi în patru regiuni distincte, una dorsală, şi trei plantare (internă, mijlocie şi externă).

Muşchii regiunii dorsale. În regiunea dorsală se găseşte un singur muşchi — *pediosul*. Acesta se inseră pe partea antero-superioară a calcaneului, se îndreaptă înainte şi înăuntru, se împarte în patru fascicule musculare, continuate cu un tendon subţire, care se inseră pe primele patru degete. Însă în timp ce primul tendon se inseră direct pe baza primei falange a halucelui, celelalte trei se inseră pe tendoanele corespunzătoare ale lungului extensor comun al degetelor.

Pediosul este un sinergist al lungului extensor comun al degetelor (de unde vine şi denumirea de scurtul extensor al degetelor) şi extinde primele patru degete pe metatarsiene.

Muşchii regiunii plantare interne. Regiunea plantară internă corespunde eminenţei tenare a mîinii, dar nu prezintă decît 3 muşchi : *adductorul halucelui, scurtul flexor al halucelui* şi *abductorul halucelui*. Cel de al patrulea muşchi al eminenţei tenare, opozantul, lipseşte la nivelul regiunii plantare interne.

Muşchii regiunii plantare interne se inseră proximal pe oasele tarsiene şi distal pe baza primei falange a halucelui. Acţiunea este indicată de însuşi numele lor.

Muşchii regiunii plantare mijlocii. În regiunea plantară mijlocie se găsesc : *scurtul flexor plantar, accesoriul lungului flexor, lombricalii piciorului* şi *interosoşii piciorului.*

a) *Scurtul flexor plantar* este corespondentul flexorului comun superficial al mîinii. Se inseră proximal pe tuberozitatea internă a feţei inferioare a calcaneului. Se împarte în patru tendoane, perforate de tendoanele corespunzătoare ale lungului flexor, şi se inseră distal pe bazele falangelor mijlocii ale ultimelor 4 degete.

Este un flexor al falangelor mijlocii pe primele falange ale ultimelor 4 degete şi un flexor al degetelor pe metatarsiene.

b) *Accesoriul lungului flexor* se inseră proximal pe cele două tuberozităţi ale feţei inferioare a calcaneului şi distal pe tendonul flexorului comun al degetelor.

Este un accesoriu al lungului flexor și flectează ultimele 4 degete pe metatarsiene.

c) *Lombricalii piciorului* sînt identici ca număr, dispoziție și acțiune cu cei ai mîinii. Sînt în număr de 4 și flectează prima falangă, extinzînd concomitent celelalte două falange ale ultimelor 4 degete.

d) *Interosoșii piciorului* sînt și ei identici ca număr, dispoziție și acțiune cu cei ai mîinii. Sînt 7 interosoși, 3 plantari și 4 dorsali, care se inseră proximal pe fețele laterale ale metatarsienelor și distal pe primele falange ale degetelor. Sînt flexori ai primelor falange pe metatarsiene și extensori ai falangelor a doua și a treia pe prima falangă, deci sinergiști ai lombricalilor.

Mușchii regiunii plantare externe. Regiunea plantară externă corespunde eminenței hipotenariene a mîinii și prezintă 3 mușchi, care poartă aceeași denumire ca și ai mîinii : *abductorul degetului mic, scurtul flexor al degetului mic* și *opozantul degetului mic.*

Toți acești mușchi se inseră proximal pe fețele infero-externe ale oaselor tarsiene și ale ultimului metatarsian și distal pe baza primei falange a degetului mic. Acțiunea este indicată de însuși numele lor.

STATICA GLEZNEI ȘI PICIORULUI

Saltul calitativ care a avut loc în evoluția animală, prin trecerea de la stațiunea patrupedă la cea bipedă, a făcut ca piciorul omului să sufere importante modificări morfo-funcționale. Stările de tranziție se pot observa destul de clar. Există, de exemplu, patrupede, cum ar fi cangurul, la care sprijinul pe întreaga lungime a plantei este posibil printr-o dezvoltare puternică a calcaneului. Dezvoltarea calcaneului începe chiar de la digitigrade, la care inserțiile unui mare număr de mușchi se fac pentru stațiunea pe degete. De îndată ce calcaneul s-a așezat pe sol, partea sa plantară, cu mușchii respectivi, se răsucește mai puțin în partea distală, creînd astfel, împreună cu celelalte piese scheletice, nișa plantară, în care nervii, vasele și mușchii găsesc un loc ferit de presiune. Mai importante sînt însă condițiile de stațiune care reies din formarea bolții plantare atît de necesară bipedului (fig. 210).

Formarea bolții plantare. Bolta este alcătuită prin torsionarea metatarsienelor, proces care a avut loc în filogenie și s-a reprodus și în ontogenie (fig. 211). În momentul în care

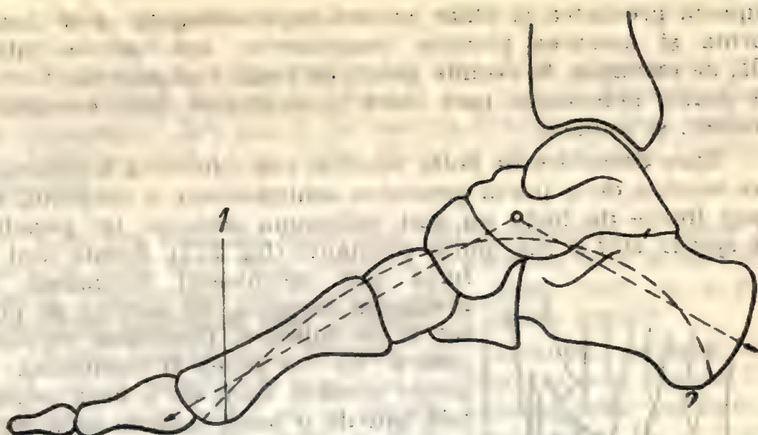


Fig. 210 — Bolta plantară longitudinală văzută din profil:
1 — punct de sprijin metatarsian, 2 — punct de sprijin calcanean.

se formează bolta şi partea internă a tarsului anterior se ridică de pe sol, metatarsienele ar trebui să fie oblice înainte şi în afară, feţele lor superioare urmînd să privească în această direcţie. Metatarsienele, păstrînd aceleaşi raporturi cu tarsul, s-ar sprijini pe sol cu marginea, cu faţa externă sau cu capetele lor, iar degetele ar fi răsucite în afară. Odată cu ridicarea scafoidului de pe planul solului, în articulaţiile tarsometatarsiene se petrece un proces de răsucire înăuntru a metatarsienelor, astfel că, odată cu formarea bolţii, metatarsienele ajung să privească cu feţele superioare în sus şi să ia sprijin pe faţa inferioară a capetelor lor.

Structura bolţii plantare. După părerea clasicilor, bolta piciorului poate fi comparată cu o boltă arhitectonică. Cînd cele două picioare sînt apropiate, bolţile lor împreunate realizează o veritabilă cupolă *(Symanowski)* O astfel de boltă tehnică (cupolă, ogivă etc.) îşi

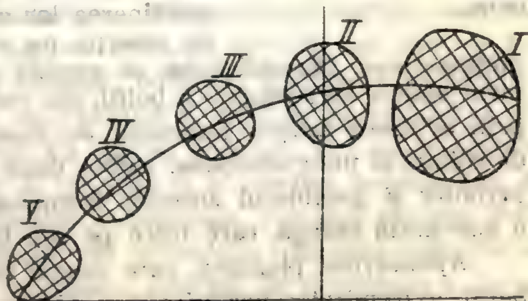


Fig. 211 — Secţiune transversală prin bolta plantară transversală realizată de cele cinci metatarsiene.

suportă greutatea şi chiar pe cea supraadăugată, prin însăşi forma şi aşezarea pieselor componente, aşa cum se întîmplă, de exemplu, la vechile arcuri de bolţi, compuse din blocuri de piatră netencuite, care intră în alcătuirea unor construcţii greceşti şi romane.

Spre deosebire de bolta tehnică, cea scheletică a piciorului are sarcina de a purta greutatea schimbătoare a corpului, aşa încît liniile de forţă nu sînt totdeauna aceleaşi, iar punctele de sprijin sînt şi mai puţin constante (fig. 212). Aceste linii de forţă sînt permanent schimbate de greutatea corpului, de sarcina de purtat şi de mişcare. Greutatea corpului nostru nu va putea fi menţinută în aceste condiţii decît de o bază orizontală sau de o boltă întărită prin legături între arcurile şi punctele de sprijin.

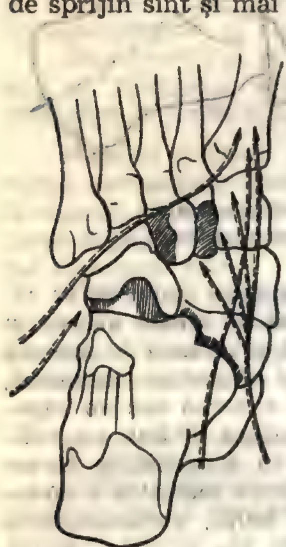


Fig. 212 — Liniile de sprijin ale bolţii interne.

Trebuie să adăugăm că oricît de slabe ar fi aceste legături, ele sînt mult ajutate de forma relativ cuneiformă a oaselor, formă care se observă mai ales în punctele culminante ale bolţii (vezi figura 210). Legăturile de sprijin ale bolţii plantare sînt reprezentate, în primul rînd, de ligamentele interosoase şi apoi de muşchi. Ligamentele leagă un os de osul vecin, aşa cum cimentul uneşte pietrele de construcţie, iar muşchii scurţi plantari unesc pilonii bolţii, contribuind la menţinerea lor chiar cînd punctele lor de inserţie nu sînt pe calcaneu şi pe metatarsiene. Muşchii lungi ai gambei nu reprezintă un element efectiv de susţinere a bolţii, dar contribuie la aceasta atît prin acţiunea asupra punctelor de inserţie, cît şi prin rolul de chingă al unor tendoane. Astfel, după cum am văzut, lungul peronier şi gambierul anterior formează prin tendoanele lor o adevărată chingă, care trece pe sub boltă.

Aponevroza plantară, care uneşte punctele de sprijin ale bolţii, extremitatea posterioară a calcaneului şi capetele metatarsienelor, jucînd rolul „tirantului" din bolta arhitectonică, nu permite pilonilor bolţii să se depărteze (vezi figura 209).

Dacă se secţionează experimental aponevroza plantară, bolta se prăbuşeşte.

În rezumat, bolta piciorului este bine comparată cu o boltă realizată tehnic, dar numai în ceea ce priveşte forma sa anatomică. Din punct de vedere funcţional însă, piciorul nu trebuie privit ca un organ static, ci ca unul prin excelenţă dinamic.

Cele trei bolţi ale piciorului. Bolta piciorului se poate împărţi în două bolţi lungi (internă şi externă) şi o boltă scurtă (bolta transversală anterioară), deşi acest mod de a privi dispoziţia anatomică este criticabil în unele puncte.

Bolta internă este formată din calcaneu, astragal, scafoid, cele 3 cuneiforme şi primul metatarsian (vezi figura 207). Cuboidul, prin faptul că se găseşte inclavat între calcaneu şi al treilea cuneiform, intră şi el în mod parţial în alcătuirea bolţii interne. Aşa cum este alcătuită această boltă, s-ar crede că menţinerea ei ar fi suficient asigurată de aponevroza plantară. Bolta internă, este, însă, întărită de ligamentul calcaneo-scafoidian plantar şi de tendoanele muşchilor gambei. Astfel, tendonul flexorului lung al halucelui formează un sprijin între sustentaculum tali şi primul metatarsian ; gambierul posterior între sustentaculum tali şi primul cuneiform, iar lungul peronier — între cuboid şi scafoid. Primul capăt al liniei de susţinere corespunde locului unde tendonul abordează regiunea plantară, iar al doilea — locului de inserţie. În afară de aceste preţioase mijloace de susţinere, mai există şi întăririle formate de ligamentele şi capsulele fiecărei articulaţii, care unesc oasele bolţii.

Bolta externă este formată din calcaneu, cuboid, al patrulea şi al cincilea metatarsian. Mijloacele de sprijin osos ale acestei bolţi nu pot suporta întreaga sarcină, aşa cum se întîmplă în cazul bolţii interne ; de aceea susţinerea se completează de către capul astragalului şi prin el de scafoid şi cel de al treilea cuneiform. Ca sprijin anterior, aici nu se găseşte numai capul celui de al patrulea şi al cincilea metatarsian, ci şi baza celui de al cincilea metatarsian. Punctul cel mai înalt al bolţii este reprezentat de articulaţia calcaneo-cuboidiană. Cînd sarcina devine mai mare, punctul de distribuire a forţelor către cele două arcuri ale bolţii se mută anterior, prin cuboid, către articulaţia tarso-metatarsiană şi astfel cuboidul

devine punctul culminant (piatra unghiulară), explicînd forma de cui pe care o are fața sa externă.

Bolta transversală scurtă se ridică de la marginea externă a piciorului prin cuboid, are maximum de înălțare în dreptul celui de al doilea cuneiform şi coboară puțin către marginea internă, prin primul cuneiform. Unii autori au arătat, prin probe radiografice, existența unei bolți de amplitudine mai mică, paralelă cu cea transversală, la nivelul capetelor metatarsienelor.

Transmiterea tensiunilor de presiune. Greutatea corpului se transmite numai prin tibie. Tensiunile de presiune se transmit la astragal, prin intermediul căruia se distribuie parte la calcaneu și parte la scafoid şi cuboid, iar prin acestea la antepicior. Suprafața articulară a extremității inferioare a tibiei constituie astfel *sistemul de susținere a gleznei*.

Pensa maleolară tibio-peronieră constituie *sistemul de direcție* care împiedică deplasările laterale ale astragalului. Marginea posterioară a tibiei oprește luxația astragalului înapoi. Cum maleola externă coboară mai jos decît cea internă (linia care unește vîrfurile celor două maleole face cu orizontala un unghi de 25—30° deschis înăuntru), ea este aceea care reprezintă adevăratul tutore al piciorului, împiedicîndu-i deviația ; de aceea este considerată segmentul cel mai important. După cum se exprimă *Destot*, „maleola externă este osul principal al piciorului".

În poziție ortostatică tensiunile de presiune de la extremitatea inferioară a tibiei se transmit astragalului, la nivelul căruia ele se repartizează înainte antepiciorului şi înapoi postpiciorului. Sistemele trabeculare ale segmentelor osoase se vor orienta deci în aceste direcții (fig. 213).

Amprenta plantară. În mod normal, datorită existenței bolților plantare, contactul dintre picior şi sol nu se face pe toată suprafața plantară, ci numai pe un anumit teritoriu care variază ca formă şi întindere de la individ la individ şi pentru fiecare individ de la o poziție la alta. Determinarea acestui teritoriu se poate face prin înregistrarea amprentei plantare, cu ajutorul *plantogramei*.

Cea mai simplă metodă de înregistrare constă în badijonarea plantelor cu cerneală sau tuş şi aşezarea plantelor pe o coală de hîrtie.

O determinare mai obiectivă, care să redea și diferențele de presiune din anumite zone ale amprentei plantare, se poate face cu ajutorul *foto-plantochimografului* și a *preso-plantografului*, aparate imaginate de dr. *Remus Ludu*. Cu ajutorul acestor aparate se înregistrează chimograma plantară pe hîrtie fotografică și se înregistrează scriptic, fotografic, radiologic și cinematografic intensitatea presiunilor exercitate de diferitele zone ale amprentelor plantare.

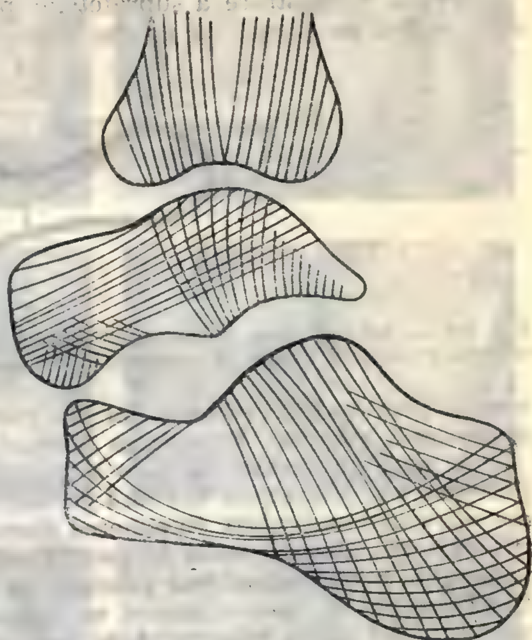


Fig. 213 — Sistemul trabecular de trasmitere a forțelor la nivelul tibiei, astragalului și calcaneului (după Mayer).

Chimografia plantară este metoda cu ajutorul căreia se înregistrează pe hîrtie fotografică mobilitatea bolților plantare antero-posterioare și transversale, prin suprapunerea imaginii reale a amprentei plantare încărcată de greutatea corpului și alte greutăți peste imaginea amprentei plantare înregistrată fără încărcătură*.

Chimograma plantară se obține cu ajutorul unui aparat constînd dintr-o cutie din lemn împărțită în două compartimente, care servesc drept camere obscure în care se introduc picioarele. În interior, fiecare compartiment are la mijloc un lăcaș în care se introduce o casetă de tip „penar", în care se află fixată o hîrtie fotografică milimetrică, albă, mată, subțire, de dimensiune corespunzătoare, pe care se așază suprafața plantară. De jur împrejurul fiecărei casete sînt instalate

* *Dr. R. Ludu* : „Procedeu și aparat foto-plantochimografic". Brevet de invenție nr. 48 097. Editura Oficiul de Stat pentru Invenții. București, 1967.

becuri electrice a cîte 25 V fiecare, de culoare albă-mată. După introducerea picioarelor în cele două compartimente, acestea se camuflează cu ajutorul unei pînze negre prevăzută la mijloc cu un fermoar, apoi se trage în afară capacul casetelor, pentru ca suprafaţa plantară uscată a picioarelor să se sprijine direct pe hîrtia fotografică.

Prima înregistrare a suprafeţelor plantare se face în poziţia şezînd pe scaun, cu gamba la un unghi de 90° faţă de

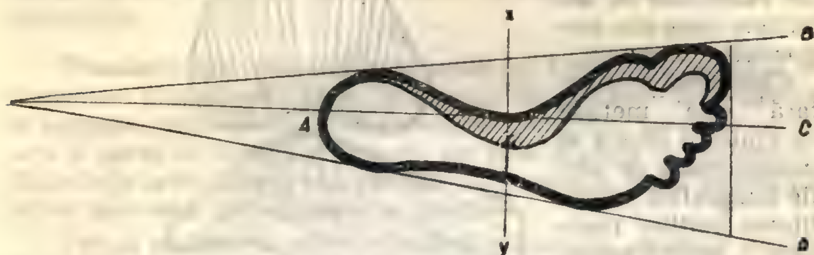


Fig. 214 — Schema unei chimograme plantare, cu imaginea albă a piciorului relaxat şi „zona de contrast în degradé" a piciorului încărcat.

coapsă, prin aprinderea becurilor din interior cu ajutorul unui declanşator automat. Expunerea durează 2/10 s.

A doua înregistrare se face în poziţie ortostatică, cu sprijin biped sau uniped, cu sau fără greutăţi supraadăugate (după dorinţa examinatorului). Expunerea durează 4/10 s. În timpul ridicării din poziţia şezînd în poziţia ortostatică subiectul nu trebuie să mişte suprafeţele plantare de pe hîrtia fotografică. După cea de a doua expunere se împinge capacul casetelor pentru a feri hîrtia fotografică de lumină şi se trimit la laboratorul fotografic, pentru developare. În revelator hîrtia fotografică se ţine pînă apare în mod clar „zona de contrast în degradé" (fig. 214).

Chimograma plantară obţinută cu ajutorul aparatului şi metodei descrise se compune dintr-o imagine albă, care reprezintă amprenta reală a suprafeţei plantare a piciorului relaxat (neîncărcat) şi dintr-o „zonă de contrast în degradé", care reprezintă imaginea reală a suprafeţei plantare încărcată de greutatea corpului şi alte greutăţi supraadăugate. Zona de contrast în degradé poate fi apreciată în mm lăţime, lungime etc. şi interpretată topografic reprezintă gradul de mobilitate a bolţilor plantare la diferite încărcături.

Presoplantografia este metoda cu ajutorul căreia se înregistrează sub formă de diferite curbe presiunile din zonele de

sprijin pe sol ale suprafeţelor plantare în poziţie ortostatică cu sprijin biped, uniped sau în timpul mersului.*

Presoplantograful (fig. 215) se compune dintr-un postament din lemn, pe care se calcă cu piciorul, de care se află



Fig. 215 — Presoplantograful (după dr. R. Ludu şi Fl. Ludu) şi tehnica înregistrărilor :
a — în plan sagital cu sprijin uniped sting, b — în plan sagital cu sprijin uniped drept, c — în plan frontal cu sprijin pe antepiciorul drept, d — în plan frontal cu sprijin pe antepiciorul sting, e — în plan frontal cu sprijin pe călcîiul drept şi f — în plan frontal cu sprijin pe călcîiul sting.

* *D. R. Ludu* şi *F. Ludu* : „Aparat pentru investigarea anatomică şi funcţională a piciorului". Brevet de invenţie nr. 51270/1968. Editura Oficiul de Stat pentru Invenţii, Bucureşti, 1968.

articulat în poziție verticală un stativ mobil, din lemn sau alt material, care reprezintă ecranul aparatului. Pe postamentul și stativul aparatului sînt așezate paralel, din cm în cm, un număr de 36 de dispozitive manometrice individuale, încărcate fiecare pînă la același nivel cu mercur. Porțiunea fiecărui manometru pe care se calcă cu piciorul (din partea care înconjură postamentul) este confecționată dintr-un tub de cauciuc cu lumenul de 3—4 mm. Celelalte părți ale manometrelor, inclusiv partea montată vertical pe stativul (ecranul) aparatului, sînt confecționate din tuburi de sticlă cu lumenul de 2—3 mm.

Presiunea exercitată pe diferitele porțiuni din lungimea fiecărui tub de cauciuc, de către suprafața plantară în contact cu acestea, împinge mercurul într-o parte și în alta prin dispozitivul manometric, care se ridică la diferite înălțimi în tuburile verticale. Curba care rezultă din nivelul la care s-a ridicat coloana de mercur în fiecare tub de sticlă formează presoplantograma (fig. 216).

Presoplantogramele înregistrate în plan antero-posterior și transversal oglindesc fidel complexul anatomic și funcțional al piciorului din regiunea în care s-au efectuat înregistrările.

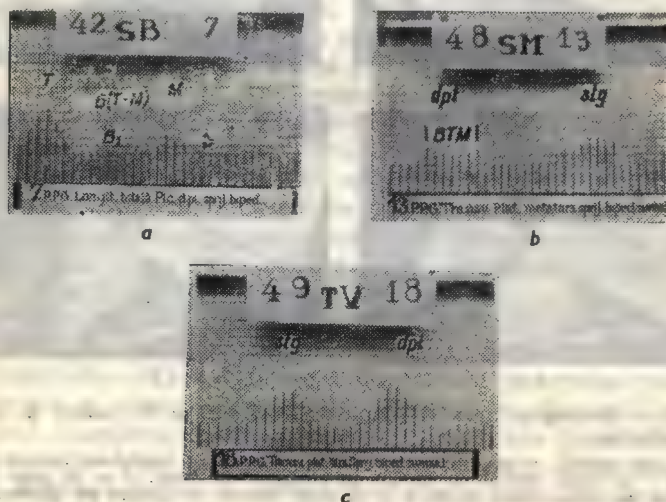


Fig. 216 — Presoplantograma :

a — normală, în plan sagital, sprijin biped, b — normală, în plan frontal, sprijin biped, c — normală, în plan frontal, sprijin biped pe antepicioare.

Imaginea curbelor p.p.g. care apar pe ecranul aparatului poate fi interpretată scopic sau înregistrată scriptic, fotografic, radiologic, cinematografic și roentgencinematografic.

Rolul încălțămintei. Modul în care se transmit tensiunile de presiune este legat și de forma încălțămintei. Piciorul a fost astfel construit de natură încît să suporte în cele mai bune condiții tensiunile de presiune atunci cînd axa lui lungă este perpendiculară pe axa gambei. Sub această incidență presiunea se repartizează în mod egal la tarsul posterior și la tarsul anterior.

Viața sedentară și lipsa exercițiilor fizice, au atras însă o prăbușire a bolții plantare. De aceea, la încălțăminte s-a adăugat un toc de 2 cm înălțime, care are rolul de a accentua bolta plantară și deci de a reconstrui sistemul arhitectural normal al piciorului.

Înălțarea excesivă a tocului atrage însă grave tulburări în repartizarea tensiunilor de presiune și calcaneul nu mai ajunge să primească decît 2/5 din greutatea corpului, restul transmițîndu-se antepiciorului. Efectele înălțării excesive ale tocului, în special la femei, se observă nu numai local, prin apariția diverselor diformități ale picioarelor, ci și la distanță și în special la nivelul coloanei lombare, care este obligată să intre în hiperlordoză.

Antepiciorul și postpiciorul. Anatomia și fiziologia antepiciorului. Se folosesc frecvent în terminologia uzuală noțiunile de antepicior și postpicior, limita de demarcație anatomică dintre acestea fiind considerată articulația intertarso-metatarsiană deci, articulația lui *Lisfranc.*

Postpiciorul se întinde de la articulația Lisfranc pînă la călcîi și el dispune ca piese osoase, de cele 7 oase tarsiene și ca articulații de toate articulațiile intertarsiene, la care se adaugă funcțional și articulația gleznei. Este un segment relativ fix și solitar.

Antepiciorul se întinde de la articulația Lisfranc pînă la extremitățile falangelor distale, dispunînd ca piese osoase de metatarsiene și de oasele degetelor, iar ca articulații de articulațiile intermetatarso-falangiene și interfalangiene.

Acest ultim segment al piciorului este deosebit de mobil şi suportă în cursul fazelor a doua şi a treia a mersului, precum şi în alergare şi săritură, totalitatea greutăţii corporale, la care se adaugă efectele potenţate ale forţelor externe.

Clasic, elementul funcţional de bază al antepiciorului, îl reprezintă bolta anterioară sau transversală. Într-adevăr această boltă se poate observa la un picior normal, care nu se sprijină pe sol. În timpul sprijinului pe sol, bolta dispare. Experienţa simplistă a lui *Russel Jones* este demonstrativă. Dacă sub piciorul descălţat se aşază cinci tuburi, cîte unul sub capul fiecărui metatarsian şi dacă subiectul este pus să se sprijine pe antepicior, nici unul din cele cinci tuburi nu se poate retrage cu uşurinţă de sub talpă. Elocvent este, de asemenea, examenul radiografic al unui antepicior care se sprijină pe sol, care demonstrează că toate cele cinci capete metatarsiene se află la acelaşi nivel. Şi măsurătorile presiunilor de apăsare pe sol în timpul mersului au demonstrat că sprijinul se realizează pe capetele tuturor celor cinci metatarsiene, dar cu presiuni variabile : capul primului metatarsian suportă două unităţi din greutatea corpului, iar celelalte patru capete de metatarsiene, fiecare cîte o unitate. Deci concepţia clasică, a sprijinului normal numai pe capul primului şi a celui de al cincilea metatarsian, nu a fost confirmată.

Anatomic, aşa-zisa boltă anterioară se menţine numai la nivelul bazei metatarsienelor, în imediata apropiere a articulaţiei *Lisfranc*, în timp ce la nivelul capetelor metatarsienelor, ea dispare în timpul sprijinului. *Honnart* (1974) denumeşte foarte expresiv această mobilitate de deplasare a capetelor metatarsienelor în plan vertical, drept „pianul metatarsian" („clavier metatarsien"). Dar, în sprijin, capetele metatarsienelor se deplasează nu numai în plan vertical, ci şi în plan transversal, distanţa dintre capul celui de al cincilea şi capul primului metatarsian mărindu-se, uneori apreciabil, ceea ce face ca antepiciorul nu numai să se aplatizeze, ci şi să se desfăşoare în lăţime.

Mărirea excesivă a diametrului transversal al antepiciorului este limitată, pe de-o parte, de ligamentele intermetatarsiene şi, pe de altă parte, de lungul peronier lateral şi de abductorul transvers. Tendonul lungului peronier lateral, care încrucişează diagonal planta din afară înăuntru şi dinapoi

înainte, pentru a se insera pe tuberculul extern al primului metatarsian, coboară și trage în afară capul primului metatarsian. Abductorul transvers își are originea pe fețele plantare ale celor de a doua, a treia, a patra și a cincea articulație metatarso-falangiană și spre ligamentele intermetatarsiene și ajunge să se insere prin tendonul său terminal divizat în două, o parte pe tendonul extensorului propriu și pe fața dorsală a halucelui și o parte pe fața plantară a abductorului oblic, a scurtului flexor și odată cu acesta din urmă pe sesamoidul extern și pe marginea externă a primei falange. Abductorul transvers menține prin contracția sa capetele metatarsienelor, nepermițînd deci mărirea excesivă a diametrului transversal.

Practic, metatarsienele acționează nu numai ca niște clape de pian, ci și ca paletele unui evantai, baza acestui mecanism fiind datorată supleței articulației *Lisfranc*.

Rolul dinamic al bolților. *Charpy* consideră că bolta externă servește la sprijin, iar cea internă la mișcare. Pentru unii autori bolta externă este bolta principală. Alții aseamănă piciorul cu un pod, iar după alții, tarsul și primul metatarsian formează o boltă postero-internă de mișcare, iar evantaiul metatarso-tarsian formează o boltă antero-externă de statică.

Spre deosebire de părerile generale, *Polietkov* ajunge la concluzia că piciorul normal se prezintă ca o spirală răsucită în grade diferite. După acest autor, întreaga funcție a piciorului (statică și dinamică) este determinată de răsucirea și desrăsucirea spiralei reprezentată de însăși planta piciorului. Ceva mai mult, chiar patologia piciorului este explicată în același mod, răsucirea exagerată ducînd la un picior scobit, iar desrăsucirea exagerată — la un picior plat.

După *Rădulescu* și *Robănescu* nu ar exista o boltă principală și una secundară sau una de sprijin și alta de mișcare. Prin acțiunea tuturor elementelor din care sînt alcătuite aceste bolți este posibilă biomecanica complexă a piciorului în moduri variate : mers, alergare, sărituri, dans, transportul de greutăți etc. Astragalul trebuie astfel inclavat în boltă și considerat ca o cheie a sa. Stațiunea se face pe un picior cînd în ușoară pronație, cînd în supinație, fiind astfel mai mult solicitată una sau cealaltă dintre bolți și nu amîndouă deodată. Acest fapt nu izolează însă funcția celor două bolți, pe care structura le

face unitare (cuboidul intră parțial în alcătuirea bolții interne, iar bolta externă este legată de cea internă prin astragal). În acest joc al bolților există un moment în care metatarsienele mijlocii suportă apăsarea greutății care se deplasează spre partea anterioară a bolții ; este momentul în care sarcina se mută de pe o boltă pe cealaltă. Metatarsienele mijlocii mai suportă sprijinul anterior al bolții și în cazurile în care calcaneul se găsește ridicat de la sol, ca în poziția ridicat pe vîrfurile picioarelor sau prin purtarea unui toc mai înalt.

Iată, deci, că problema sprijinirii greutății corpului pe pilonul anterior al bolții, problemă atît de mult discutată, nu se limitează la concepția apăsării pe un singur metatarsian. Prin schimbul succesiv al bolților, toate capetele metatarsienelor devin, rînd pe rînd, puncte de sprijin. În mers, alergare, săritură, coborîrea scărilor etc. și, în general, în efortul digitigrad, greutatea se transmite prin astragal scafoidului și apoi metatarsienelor, cărora le revine, prin capetele lor, rolul de susținere. Stîlpul posterior al bolții (calcaneul) dă inserție, pe de o parte, tricepsului sural, care reprezintă rezultanta forțelor care se opun în această situație gravitații, iar pe de altă parte — mușchilor plantari, factor important pentru menținerea piciorului în stațiune digitigradă.

BIOMECANICA GLEZNEI ȘI A PICIORULUI

Biomecanica gleznei. Articulația gleznei poate fi asemuită cu un cilindru plin (astragalul) încastrat în segmentul cilindric, săpat în pilonul tibial și menținut pe laturi de cele două maleole. Pilonul tibial care reprezintă suprafața articulară are forma unui patrulater cu axa mare transversală și este parcursă în partea mijlocie de o creastă antero-posterioară care îi dă o ușoară convexitate transversală, corespunzătoare șanțului de pe trohlea astragalului. Este concavă în plan sagital, descriind un arc de aproximativ 70°, care poate varia între 50 și 95° și a cărui rază este de aproximativ 2 cm. Anterior și posterior este limitată de două margini dintre care cea posterioară este mai coborîtă și greșit denumită ca fiind o a treia maleolă, iar medial și lateral de maleolele internă și externă.

În articulația gleznei au loc mișcările de flexie și extensie ale piciorului. Axa biomecanică în jurul căreia se execută aceste mișcări, deși este transversală, face un unghi de 8° cu linia bimaleolară, așa încît, dacă piciorul se așază în flexie dorsală, vîrful lui se duce și în adducție.

Dar, față de axa transversală de flexie și extensie a genunchiului, plasată în plan frontal strict, axa transversală de flexie plantară și dorsală a articulației tibio-tarsiene are și o înclinație de 20—30°, datorită rotației externe normale a tibiei (fig. 217). La nou-născuți tibia nu este rotată extern decît cu 2°, dar se accentuează progresiv, pentru a ajunge către vîrsta de 7 ani, la valorile de 25—30°, care se mențin și la adult (15° după *Steindler* și 30° după *Poirier*). Pentru *Steindler* ar fi egală cu unghiul de declinație al colului femural.

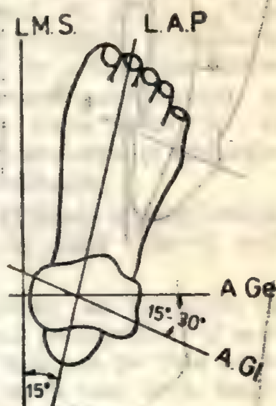


Fig. 217 — Axa transversală de flexie-extensie a articulației gleznei, are față de axa transversală a articulației genunchiului, o înclinație de 20°—30°.
LAP — axa lungă a piciorului, LMS — planul medio-sagital al corpului; A Ge — axa transversală a genunchiului, A Gl — axa transversală a gleznei.

Rotația externă a tibiei se datorește adaptării la necesitățile funcționale ale mersului (fig. 218). În mers, centrul de greutate principal al corpului, oscilează de o parte și de alta. În prima jumătate a perioadei de sprijin, axa de rotație a articulației gleznei nu este perpendiculară pe linia de înaintare geometrică a corpului, dar se menține aproximativ perpendiculară pe traiectoria oscilantă a centrului de greutate principal al corpului, ceea ce permite o libertate de acțiune favorabilă articulației gleznei (fig. 219).

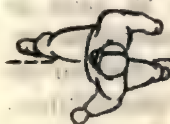


Fig. 218 — Oscilațiile centrului de greutate principal al corpului, de o parte și de alta.

Amplitudinea totală a mişcărilor de flexie şi extensie este de 70°, dintre care 25° revin flexiei dorsale, iar 45° extensiei (fig. 220).

Mobilitatea articulaţiei tibio-tarsiene variază de la individ la individ. În cazurile de hipermobilitate se ajunge la o exten-

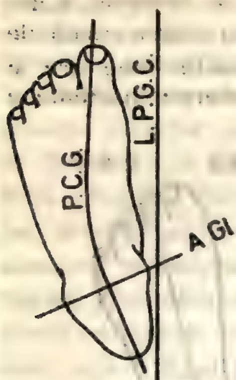


Fig. 219 — În timpul primei jumătăţi a perioadei de sprijin, axa transversală a gleznei nu este perpendiculară pe linia de înaintare geometrică a corpului, dar se menţine aproximativ perpendiculară pe traiectoria proiecţiei centrului de greutate, principal al corpului T.P.C.G. — traiectoria proiecţiei centrului de greutate. L.P.G.C. — linia de progresie geometrică a corpului, A Gl. — axa articulaţiei gleznei.



Fig. 220 — **Acţiuni musculare :**
A — acţiunea gambierului anterior, B — acţiunea extensorului comun, C — acţiunea peronierilor.

sie forţată (astfel ca piciorul prelungind gamba să cadă la unghi drept faţă de sol) ca în poantă la balet („coup-de-pied").

În afară de această mişcare mai există una extrem de redusă, mişcare de lateralitate a astragalului în pensa tibio-peronieră. Mişcările de lateralitate ale piciorului sînt împiedicate de maleole şi în special de maleola peronieră.

Mişcările antero-posterioare ale piciorului sînt de foarte mică amplitudine. Mai accentuată este deplasarea înapoi, atunci cînd oprirea din mers se face brusc şi astragalul este reţinut de către marginea posterioară a tibiei.

Articulaţia tibio-peronieră inferioară are o deosebită importanţă funcţională în realizarea mişcărilor de flexie şi extensie. Despre rolul acestei articulaţii s-a vorbit la gambă.

Biomecanica celorlalte articulaţii ale piciorului. Piciorul este astfel construit încît să poată suporta nu numai greutatea individului, ci şi aceea pe care o suportă uneori în plus. În acelaşi timp, piciorul are posibilităţi mari de mişcare. Deşi în cele mai multe din articulaţiile sale mişcările sînt foarte reduse, aproape neglijabile (de exemplu, în articulaţia scafoido-cuneiformă sau în articulaţiile intertarso-cuneiforme), în totalitatea sa piciorul se poate mişca în toate sensurile. El efectuează mişcări de flexie şi extensie, de abducţie şi adducţie, de rotaţie internă şi externă şi de circumducţie.

Am văzut că mişcările de flexie şi extensie se realizează, în special, din articulaţia gleznei, dar în mică măsură mai intervin şi celelalte articulaţii.

Articulaţia medio-tarsiană este o trohlee, iar mişcările de rotaţie se fac, în primul rînd, între capul astragalului şi scafoid. Cuboidul descrie în acelaşi timp o mişcare pe faţa anterioară a calcaneului, dar cu amplitudine mult mai mică, angajînd, într-o măsură oarecare şi calcaneul.

Articulaţia subastragaliană permite o mişcare de învîrtire a calcaneului într-un sens sau altul şi de alunecare înainte, cu deplasarea extremităţii lui anterioare în abducţie sau adducţie. Abducţia şi adducţia piciorului se execută mai cu seamă în articulaţia subastragaliană şi are o amplitudine de 10—20°.

Supinaţia şi pronaţia piciorului se fac, în primul rînd, în articulaţiile medio-tarsiană şi apoi în cea subastragaliană. Dar toate aceste mişcări nu se execută izolat, ci se combină între ele, realizînd *inversiunea* şi *eversiunea piciorului*. Inversiunea rezultă din asocierea adducţiei cu rotaţia internă şi este uşurată de extensia piciorului. Eversiunea rezultă din asocierea abducţiei cu rotaţia externă şi este uşurată de flexia dorsală a piciorului.

Mişcările înainte de a fi frînate de contactul între marginea pilonului tibial şi astragal vor fi limitate de ligamente şi de rezistenţa musculară. În cazul mişcărilor rapide muşchii

Tabel recapitulativ al mușchilor piciorului

Grupa	Denumirea	Inserția	
		Proximală	Distală
Flexori dorsali	Gambier anterior	Tuberozitatea externă și fața externă a tibiei	Primul cuneiform
	Extensor comun al degetelor	Tuberozitatea externă a tibiei și fața internă a peroneului	Ultimele 4 degete
	Extensor propriu haluce	Fața internă a peroneului	Haluce
Extensori (flexori plantari)	Triceps sural	Condilii femurali; fața posterioară a tibiei și peroneului	Calcaneu
	Plantar subțire	Condil extern al femurului	Calcaneu
	Gambier posterior	Tibie, peroneu	Scafoid
	Lung flexor comun al degetelor	Fața posterioară a tibiei	Ultimele 4 degete
	Lung flexor al halucelui	Fața posterioară a peroneului	Haluce
	Lung peronier lateral	Peroneu	Baza metatars I
	Scurt peronier lateral	Peroneu	Baza metatars V
Adductori și rotatori înăuntru	Gambier anterior	Tuberozitatea și fața externă a tibiei	Prim cuneiform
	Gambier posterior	Tibie, peroneu	Scafoid
	Extensor propriu al halucelui	Fața internă a peroneului	Haluce
Abductori și rotatori în afară	Lung peronier lateral	Peroneu	Baza metatars I
	Scurt peronier lateral	Peroneu	Baza metatars V
	Extensor comun al degetelor	Tuberozitatea externă a tibiei; fața internă a peroneului	Ultimele 4 degete

antagoniști intră în contracție și frînează mișcarea înainte ca aceasta să ajungă la limită. Deci principala frînă a mișcării o constituie musculatura *(Leshaft)* și de aceea amplitudinea mișcărilor active este mai mică decît cea pasivă. Flexia dorsală va fi limitată deci de : factori musculari (în special rezistența tricepsului), factori capsulo-ligamentari (partea posterioară a capsulei se întinde la fel ca și fasciculele posterioare ale ligamentelor mediale și laterale) și factori osoși (contactul colului astragalului cu marginea anterioară a pilonului) ; flexia plantară (extensia) va fi limitată de aceiași factori : musculari (rezistența extensorilor), capsulo-ligamentari (capsula anterioară și fasciculul anterior al ligamentului lateral) și osoși (tuberculii posteriori ai astragalului, mai ales cel lateral, care vin în contact cu marginea posterioară a marginii posterioare a tibiei).

Stabilitatea antero-posterioară și coaptarea sînt asigurate de greutatea care aplică talusul sub pilonul tibial ale cărei margini anterioară și posterioară împiedică ieșirea talusului ; mușchii sînt coaptori activi, iar ligamentele laterale asigură o coaptare pasivă. Cînd mișcarea depășește amplitudinea normală unul din elementele care limitează această mișcare trebuie să cedeze.

Mușchii motori ai degetelor piciorului. Mișcarea de flexie a degetelor este realizată prin flectarea primei falange pe metatarsiene, a celei de a doua falange pe prima și a celei de a treia pe a doua.

Flectarea primei falange pe metatarsiene o realizează, la nivelul ultimelor 4 degete, interosoșii, lombricalii, lungul flexor comun și lungul flexor propriu ; la nivelul halucelui scurtul flexor plantar, adductorul halucelui, scurtul flexor al halucelui ; iar la nivelul degetului mic abductorul degetului mic și scurtul flexor al degetului mic.

Flectarea celei de a doua falange pe prima o realizează scurtul flexor plantar (flexorul perforat) pentru ultimele 4 degete și flexorul propriu pentru haluce.

Flectarea celei de a treia falange pe a doua o realizează lungul flexor comun (flexorul perforant).

Mișcarea de extensie a degetelor este realizată prin extensia primei falange pe metatarsiene, a celei de a doua falange pe prima și a celei de a treia falange pe a doua.

Extensia primei falange pe metatarsiene o realizează extensorul comun, pentru ultimele 4 degete, extensorul propriu pentru haluce și pediosul pentru degetele 1—4.

Extensia celei de a doua falange pe prima și a celei de a treia falange pe a doua o realizează interosoșii, lombricalii, extensorul comun și pediosul.

Goniometria. Articulația tibio-astragaliană este o trohleartroză cu un singur grad de libertate, care permite efectuarea mișcărilor de flexie plantară și dorsală ale piciorului. La aceste mișcări contribuie însă și celelalte articulații ale piciorului.

Mișcările de flexie și extensie ale articulației tibio-tarsiene are o amplitudine totală de 70°. Determinarea goniometrică se face pornindu-se de la poziția 0, piciorul fiind la unghi drept față de gambă. Amplitudinile medii normale de mișcare sînt următoarele:

	Flexie dorsală	Extensie (flexia plantară)	Total
Activ	25°(0–25°)	45°(0–45°)	70°
Pasiv	30°(0–30°)	55°(0–55°)	85°
Diferența	5°	10°	15°

Goniometrul se așază în mod atipic, neglijîndu-se nivelul axei biomecanice principale de mișcare (axa transversală care unește vîrfurile celor două maleole). El se plasează în plan sagital, pe fața externă a gambei, gleznei și piciorului, cu baza posterior și în dreptul axei lungi a gambei. Axul indicatorului se așază în dreptul marginii plantare externe, într-un punct situat sub vîrful maleolei externe. Indicatorul se îndreaptă anterior și urmărește marginea externă a plantei (fig. 221).

Goniometria inversiunii și eversiunii nu este posibilă în mod corect fără goniometre speciale pentru determinări concomitente în trei direcții. Încercările care se fac de a se determina separat abducția și adducția, rotația internă și externă, mai ales pentru mișcările active, sînt iluzorii și nu pot surprinde mișcarea în toată complexitatea ei. Ce rămîne, practic, posibil este determinarea mișcărilor de valg și de var ale postpiciorului.

Mișcarea de valg (înclinația peronieră) și de var (înclinația tibială) a postpiciorului se efectuează în plan frontal, în jurul unei axe biomecanice antero-posterioare care trece prin mijlocul articulației gleznei. Are o amplitudine de 15° pentru valg și de 25° pentru var.



Fig. 221 — Goniometria gleznei şi piciorului. Flexia şi extensia :
a — poziţia de plecare, b — poziţia finală a flexiei plantare (extensiei), c — poziţia finală a flexiei dorsale.

Subiectul este așezat în picioare pe o masă, cu călcîiele spre margine. Goniometrul se plasează în plan frontal, cu baza în sus, cu axul indicatorului pe mijlocul reliefului tendonului ahilian, în dreptul articulației gleznei, cu indicatorul în jos spre nadir (deci la 90° pe semicercul gradat). În executarea mișcărilor de valg și var se va fixa planta pe planul mesei la nivelul antepiciorului.

Articulațiile metatarso-falangiene sînt articulații condiliene cu trei grade de libertate. Pasiv, sînt posibile la nivelul lor mișcări de flexie și extensie, înclinare laterală și ca o rezultantă a acestora, de circumducție. Activ, în mod normal, prin atrofierea mușchilor abductori și adductori ai degetelor acestor articulații nu mai prezintă decît mișcări de flexie și extensie.

Mișcările de flexie și extensie se efectuează în plan sagital, în jurul unei axe biomecanice transversale care trece prin condilii metatarsieni, puțin deasupra inserțiilor superioare ale ligamentelor colaterale. Amplitudinea medie normală de mișcare este de 20° flexie plantară și 40° flexie dorsală (extensie), deci în total 60°. Goniometria se folosește practic, numai pentru determinarea amplitudinii de flexie și extensie la nivelul articulației metatarso-haluciene.

Articulațiile interfalangiene sînt trohleartroze cu un singur grad de libertate, care permit mișcarea de flexie și extensie. Goniometria lor clinică este posibilă cu un goniometru mic, plasat în plan sagital, dar se efectuează numai excepțional.

MEMBRUL INFERIOR CA LANȚ CINEMATIC

Bazinul, șoldul, coapsa, genunchiul, gamba, glezna și piciorul acționează în cursul diferitelor poziții și mișcări ca un lanț cinematic deschis sau închis.

Ca lanț cinematic închis acționează în următoarele poziții și mișcări pe care le vom denumi după terminologia din gimnastică:

— susținerea corpului în pozițiile stînd, pe genunchi și șezînd,

— propulsia corpului în sus, înainte sau înapoi (ridicarea pe vîrfuri, bătaia la sărituri etc.),

— amortizarea căderii pe sol (în căderea în picioare).

Ca lanţ cinematic deschis, membrul inferior acţionează în următoarele mişcări :

— depărtarea şi apropierea picioarelor,

— răsucirea în afară şi înăuntru (mişcarea de rotaţie externă şi internă din terminologia anatomică),

— rotaţia dinapoi înainte şi dinainte înapoi (mişcările de circumducţie din terminologia anatomică),

— lovirea,

— împingerea,

— în cazuri speciale, chiar apucarea.

Vom reveni asupra acestor acţiuni, în capitolele care urmează.

[illegible]

Mişcările de flexie şi extensie se efectuează în plan sagital [illegible] jurul unei axe [illegible] din mediotarsiană [illegible] Amplitudinea medie [illegible] este de 20° flexie plantară şi 40° flexie dorsală (extensie). [illegible] în total [illegible] se foloseşte [illegible] pentru determinarea amplitudinii de flexie şi extensie [illegible] articulaţia mediotarsiană [illegible]

Articulaţiile [illegible] un singur grad de libertate, care permit mişcarea de flexie şi [illegible] geometria lor [illegible] este paralelă cu [illegible] plan sagital. Dar se efectuează numai excepţional.

MEMBRUL INFERIOR CA LANŢ CINEMATIC

[illegible] acţionează în cursul [illegible] lanţ [illegible] deschis sau închis.

[illegible]

— susţinerea corpului în poziţie stând pe [illegible] şezând,

— propulsia corpului în sus, înainte sau înapoi [illegible]

[illegible]

— amortizarea căderii pe sol în căderea pe picioare.

POZIȚIILE SAU POSTURILE

Orice activitate motorie începe dintr-o anumită poziție și se termină într-o anumită poziție. Pozițiile sau posturile pe care le poate lua corpul omenesc și care pot reprezenta punctul de plecare sau punctul terminus al exercițiilor fizice sînt infinite. Dintre acestea, un număr restrîns, și anume cele care revin mai frecvent în practica exercițiilor fizice, au fost denumite poziții fundamentale.

PLANUL GENERAL PENTRU ANALIZA ANATOMO-BIOMECANICĂ A UNEI POZIȚII

Pozițiile fundamentale diferă pentru fiecare activitate sportivă, ele fiind altele în probele atletice, natație, ciclism, schi, tir sau gimnastică. Studiul lor se face după următorul plan :

1. Denumirea anatomo-biomecanică a poziției.
2. Exercițiile fizice în care se întîlnește poziția.
3. Descrierea poziției. Poziția segmentelor.
4. Baza de susținere.
5. Poziția centrului de greutate.
6. Unghiul de stabilitate.
7. Menținerea echilibrului. Rolul reflexelor posturale.
8. Grupele musculare principale.
9. Mijloacele de stabilizare pasivă.
10. Acțiunea pîrghiilor osteo-articulare.
11. Variantele poziției.

Denumirea anatomo-biomecanică a poziției. Se precizează denumirea din gimnastică a poziției și corespondentul din terminologia medicală.

De exemplu : poziţia de drepţi (apropiat stînd) = poziţia ortostatică, cu sprijin bipodal şi plantigradă cu membrele inferioare în adducţie.

Pe un picior stînd = poziţie ortostatică cu sprijin monopodal şi plantigrad.

Exerciţiile fizice în care se întîlneşte poziţia. Se enumeră diferitele exerciţii fizice în care se foloseşte poziţia respectivă, fie ca poziţie de plecare, fie ca poziţie finală sau ca poziţie într-un anumit moment al mişcării.

Poziţia segmentelor. Se descrie poziţia diferitelor segmente şi raporturile dintre ele, precizîndu-se în grade unghiurile unui segment faţă de celălalt.

De exemplu : în poziţia de cumpănă laterală, membrul inferior de sprijin prezintă piciorul în flexie dorsală de 90° pe gambă, gamba extinsă pe coapsă şi coapsa extinsă pe şold. Trunchiul extins şi înclinat (îndoit) lateral la 90° faţă de membrul inferior de sprijin. Membrul inferior liber, extins paralel cu solul şi în prelungirea trunchiului, cu coapsa în abducţie de 90°, gamba extinsă pe coapsă şi piciorul în flexie plantară maximă faţă de gambă.

Baza de susţinere (poligonul de sustentaţie). Se înţelege prin bază de susţinere o suprafaţă de o formă geometrică foarte variabilă, delimitată fie de marginile exterioare, fie de punctele prin care segmentele corpului omenesc iau contact cu solul. Astfel, baza de susţinere în poziţia stînd poate fi reprezentată de suprafaţa trapezoidală cuprinsă între marginile externe ale plantelor (fig. 222) ; în poziţia stînd pe un picior — de suprafaţa plantară a piciorului de sprijin ; în poziţia stînd pe vîrfuri — de suprafaţa plantară a antepicioarelor ; în poziţia stînd în poante — de pulpa degetelor piciorului etc.

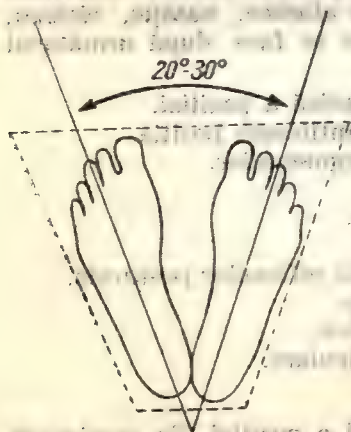


Fig. 222 — Baza de susţinere în poziţia stînd.

În alte ramuri ale educaţiei fizice, această suprafaţă poate fi redusă practic la un punct (ca în dansul pe poante) sau la o linie (ca la patinaj în alunecarea pe o singură patină).

Menţinerea echilibrului este cu atît mai uşoară, cu cît baza de susţinere îşi micşorează suprafaţa.

Poziţia centrului de greutate. Determinarea poziţiei se face luîndu-se în consideraţie locul centrului de greutate şi greutatea fiecărui segment în parte. Astfel, pentru un corp omenesc cu o greutate totală de 58,71 kg, *Vandervael* a stabilit următoarele valori ale diverselor segmente :

Segmentul	Greutatea segmentului (în kg)	Poziţia mijlocie a centrului de greutate a segmentului
Cap	4,14	Şaua turcească
Trunchi	25,06	Faţa anterioară a vertebrei L_1
Trunchi şi cap	29,20	Faţa anterioară a vertebrei D_{11}
Braţ	1,98	Mijlocul humerusului
Cap, antebraţ şi mînă	1,83	Treimea inferioară a antebraţului
Mînă	0,490	Extremitatea distală a metacarpienelor II
Membru superior	3,81	Articulaţia cotului
Trunchi, cap şi membre superioare	35,82	35 cm deasupra articulaţiilor coxo-femurale
Coapsă	6,80	Treimea superioară a femurului (pe marginea internă)
Gamba	3,09	Treimea superioară a tibiei (pe faţa posterioară)
Picior	1,05	Articulaţia medio-tarsiană (pe marginea internă)
Gambă şi picior	4,14	Deasupra treimii inferioare a tibiei
Membru inferior	10,94	Treimea inferioară a coapsei

Cunoscînd poziţiile mijlocii ale centrelor de greutate şi greutatea a două segmente vecine izolate, se poate găsi centrul de greutate al ambelor segmente reunite. Acesta este situat pe linia dreaptă care uneşte centrele de greutate ale celor două segmente, aproximativ la o distanţă de acestea invers proporţională cu greutatea segmentelor considerate. Combinînd astfel, din aproape în aproape, centrele de greutate ale diferitelor părţi ale corpului, se poate găsi poziţia centrului de greutate al întregului corp aflat într-o poziţie oarecare.

Unghiul de stabilitate. Acesta este format de proiecţia centrului de greutate principal al corpului cu dreapta care uneşte

centrul de greutate cu marginea bazei de susținere (fig. 223). Cu cît acest unghi este mai mare, cu atît stabilitatea devine mai mare.

Teoretic, unghiul de stabilitate este cu atît mai mare, cu cît centrul de greutate este situat mai jos, iar baza de susținere mai mare. Practic însă, acest unghi nu are o valoare indicativă absolută, deoarece proiecția centrului de greutate se deplasează pe diversele puncte ale suprafeței bazei de susținere. Unghiul de stabilitate va fi altul, pentru aceeași poziție, în raport cu marginea bazei de susținere față de care se calculează. În poziția șezînd, de exemplu, unghiul de stabilitate este foarte mare dacă ne referim la marginea anterioară a bazei de susținere, dar este foarte mic dacă ne referim la marginea posterioară a acestei baze.

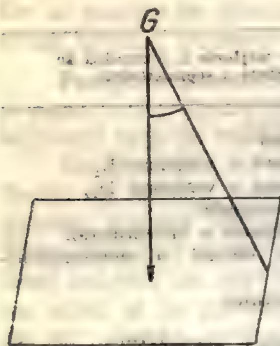


Fig. 223 — Determinarea unghiului de stabilitate.

Menținerea echilibrului. Rolul reflexelor posturale. Pozițiile sau posturile se mențin datorită *travaliului static* al grupelor musculare, travaliu dirijat prin *reflexele posturale*, de către *centrii posturali.*

Mecanismele de postură sînt provocate de stimuli de origine diferită, informațiile fiind primite de la labirintul urechii (asupra poziției capului în spațiu), de la proprioceptorii musculaturii gîtului (asupra poziției capului față de trunchi), de la proprioceptorii musculaturii trunchiului și membrelor (asupra poziției membrelor în spațiu), de la receptorii vizuali (asupra poziției întregului corp față de corpurile înconjurătoare) și de la exteroceptorii cutanați (de la nivelul unde tegumentele intră în contact cu punctele de sprijin ale corpului pe sol sau cu obiectele înconjurătoare).

Toate aceste informații primite de sistemul nervos central declanșează o serie de reacții, sistematizate de *R. Magnus* în: *reacții statice locale, reacții statice segmentare* și *reacții statice generale,* care dirijează travaliul static muscular în vederea menținerii pozițiilor.

Menținerea pozițiilor nu este posibilă fără menținerea echilibrului corpului omenesc, care rezultă tot din intrarea în acțiune a reflexelor posturale. Din punct de vedere biomecanic și conform legii echilibrului, starea de echilibru se realizează

atunci cînd proiecția verticală a centrului de greutate principal al corpului omenesc cade în interiorul bazei de susținere. Stabilitatea poziției este cu atît mai mare, cu cît proiecția centrului de greutate este mai apropiată de centrul bazei de susținere.

Grupele musculare principale. În menținerea oricărei poziții intervin practic toate grupele musculare ale corpului, ele efectuînd un travaliu static. Toate grupele agoniste și antagoniste acționează ca niște cupluri de forță, neutralizîndu-se reciproc.

Fiecare poziție presupune însă, în plus, intrarea în acțiune cu preponderență a unor anume grupe musculare.

De exemplu : în poziția stînd depărtat, în care coapsele sînt în abducție, în afara grupelor musculare principale care mențin orice poziție ortostatică, pe primul plan stau mușchii adductori ai coapselor, care înving prin contracția lor forțele gravitaționale, nelăsînd coapsele să se depărteze prin alunecarea picioarelor pe sol.

Mijloacele de stabilizare pasivă. În afara grupelor musculare intră în acțiune și o serie de mecanisme de stabilizare pasivă, cum ar fi : echilibrul intrinsec al coloanei vertebrale, capsula și ligamentele unor articulații hiperextinse, punerea sub tensiune a fasciilor și aponevrozelor sau intrarea în contact a unor segmente osoase care blochează mișcarea.

Acțiunea pîrghiilor osteo-articulare. Conform principiilor generale ale anatomiei funcționale și biomecanicii, în cadrul lanțurilor cinematice închise (membrele pe care se sprijină corpul în menținerea poziției respective), pîrghiile osteo-articulare acționează ca pîrghii de gradul I, de sprijin, iar în cadrul lanțurilor cinematice deschise (membrele libere, fără sprijin), pîrghiile osteo-articulare acționează ca pîrghii de gradul III, de viteză.

Variantele poziției. Orice poziție principală poate prezenta numeroase variante, legate fie de modificarea poziției însăși, fie de caracteristicile individuale ale executantului.

POZIȚIILE PRINCIPALE DIN GIMNASTICĂ

Ramura educației fizice care prezintă cel mai mare număr de poziții principale este gimnastica. De aceea ne vom limita să prezentăm studiul anatomo-biomecanic al pozițiilor principale din gimnastică, poziții care se reîntîlnesc, deastfel, cu modifi-

cări mai mult sau mai puțin importante, și în practica celorlalte ramuri ale educației fizice.

Exercițiile fizice din gimnastică pot fi începute din următoarele poziții : 1. culcat ; 2. stînd ; 3. pe genunchi ; 4. ghemuit ; 5. șezînd ; 6. stînd pe mîini ; 7. atîrnat ; 8. sprijinit și 9. sprijin culcat.

În mare, și în raport cu incidența axei lungi a corpului față de sol, aceste poziții pot fi împărțite în trei mari grupe : poziții orizontale, poziții verticale și poziții înclinate. În pozițiile orizontale sprijinul pe sol se face pe una din fețele corpului (dorsală, ventrală sau laterală). În pozițiile verticale, sprijinul pe sol se face pe extremități, fie pe membrele inferioare, fie pe cele superioare. În pozițiile înclinate, sprijinul se face și pe membrele inferioare și pe cele superioare.

Un tabel sinoptic al pozițiilor fundamentale și al unora dintre variantele lor mai importante ar putea fi astfel prezentat :

Poziții	Sprijinul	Poziția principală	Variantele
Orizontale	Pe tot corpul	*1.* culcat	*a)* pe spate (decubit dorsal) *b)* înainte (decubit ventral) *c)* lateral (decubit lateral)
Verticale	Pe membrele inferioare	*2.* stînd	*a)* apropiat (drepți) *b)* depărtat *c)* fandat
		3. pe genunchi	
		4. ghemuit	
		5. șezînd	
	Pe membrele superioare	*6.* stînd pe mîini	
		7. atîrnat	
		8. sprijinit	
Înclinate	Pe membrele superioare și inferioare	*9.* sprijinit culcat	*a)* înainte *b)* înapoi *c)* lateral

Acest tabel a fost alcătuit din necesitatea de a grupa pozițiile principale în vederea studierii lor din punct de vedere al anatomiei funcționale și al biomecanicii.

POZIȚIA CULCAT

Denumirea poziției. Poziție clinostatică sau de decubit.

Exercițiile fizice în care se întîlnește poziția. În afară de gimnastică, poziția se mai poate întîlni la tir (poziția culcat) sau la săniuță.

Poziția segmentelor. Corpul este întins pe sol pe spate (poziția clinostatică dorsală, poziția de supinație, decubit dorsal), pe față (poziție clinostatică ventrală, poziție de pronație, decubit ventral) sau pe o parte (poziția clinostatică laterală dreaptă sau stîngă, decubit lateral).

Membrele inferioare sînt întinse; membrele superioare sînt întinse fie pe lîngă corp, fie în prelungirea lui. Axa lungă a corpului este paralelă cu solul.

Baza de susținere. Corpul întins pe sol, pe una din fețele lui, ia contact cu acesta pe o suprafață întinsă. Dacă solul este deformabil (nisip sau saltea), fața respectivă a corpului, de formă neregulată, poate lua contact pe toată întinderea ei cu suprafața de sprijin, care se mulează după neregularitățile corpului. Dacă solul este însă dur, suprafața de sprijin se limitează la cîteva zone.

În poziția culcat pe spate contactul se face pe regiunea occipitală, partea superioară a feței posterioare a toracelui (omoplații), regiunea fesieră și fața posterioară a călcîielor. În poziția culcat înainte contactul se face pe partea inferioară a feței anterioare a toracelui, pe spinele iliace antero-superioare, pe fața anterioară a șoldurilor, coapselor și genunchilor și pe fața dorsală a picioarelor. În culcat lateral — membrul superior de partea respectivă fiind îndoit sub cap sau întins deasupra capului — contactul se face pe fața posterioară a membrului superior, pe partea superioară a feței laterale a toracelui și marginea laterală a omoplatului, pe fața externă a marelui trohanter, pe fața externă a coapsei și gambei și pe marginea externă a piciorului.

Oferind aceste suprafețe întinse de sprijin, greutatea de corp repartizată pe fiecare cm^2 de sprijin este mai scăzută față de celelalte poziții, în care suprafața de sprijin este mult mai mică.

Poziția centrului de greutate. Determinarea teoretică a poziției centrului de greutate principal al corpului în poziția culcat pe spate se face astfel (fig. 224):

x_1 = centrul de greutate picior + gambă,

x_2 = centrul de greutate picior + gambă + coapsă,

G = centrul de greutate picior + gambă + coapsă + trunchi + membre superioare + cap = centrul de greutate al întregului corp.

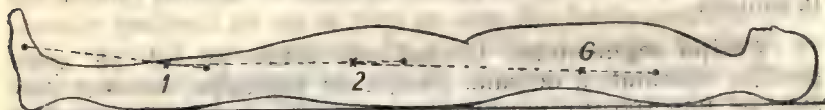


Fig. 224. — Determinarea teoretică a centrului de greutate în poziția culcat.

Unghiul de stabilitate. Centrul de greutate al corpului este apropiat de baza de susținere. Unghiul de stabilitate este, deci, foarte mare. În pozițiile clinostatice dorsale și ventrale întîlnim cel mai mare unghi de stabilitate din toate pozițiile. În schimb, în poziția clinostatică laterală, unghiul de stabilitate în plan transversal (înainte și înapoi) este mic.

Menținerea echilibrului. Apropierea centrului de greutate de baza de susținere care este și ea foarte întinsă face ca echilibrul să se mențină cu deosebită ușurință, mai ales pentru pozițiile culcat pe spate și culcat înainte. Pe primul plan, în transmiterea impulsiilor senzitive ce înștiințează sistemul nervos central asupra poziției stau exteroceptorii cutanați ai suprafețelor de sprijin.

Grupele musculare principale. Totuși, poziția culcat din gimnastică nu este o poziție de repaus. Pentru menținerea ei intervin aceleași grupe musculare ca și în poziția stînd. Coloana vertebrală se blochează menținîndu-și curburile fiziologice, bazinul rămîne echilibrat, membrele inferioare și superioare sînt extinse. Contracția musculară generalizată atrage și în această poziție o supraîncărcare a discurilor intervertebrale. Astfel, asupra celui de al treilea disc lombar se exercită o presiune de 20 kg în poziția culcat pe spate (decubit dorsal) și de 70 kg în poziția culcat pe o parte (decubit lateral) (*Nachemson*).

În poziția culcat pentru repaus se ajunge numai în momentul în care grupele musculare nu se mai contractă. În acest caz, curburile coloanei se modifică, bazinul se înclină, iar membrele inferioare se flectează ușor din șold, genunchi și picioare.

POZIȚIA STÎND

Denumire. Poziția ortostatică bipedă și plantigradă.

Stațiunea bipedă și plantigradă a omului primitiv a reprezentat unul din primele salturi care l-a diferențiat de antropoide. Întregul organism a fost nevoit să se adapteze acestei situații, legată de noile condiții de viață. Un salt dificil în momentul trecerii sale de la stațiunea patrupedă la stațiunea bipedă l-a avut de suferit, printre altele, regiunea lombo-sacrată. La animalul patruped greutatea corpului se repartiza aproape în mod egal spre cele patru unghiuri ale periferiei corpului ; aceeași greutate a fost nevoită să se repartizeze la animalul biped numai spre membrele inferioare, care au ajuns să suporte o greutate dublă. Regiunea lombo-sacrată a devenit astfel, la animalul biped, locul principal de întîlnire a celor două forțe cu acțiune contrarie care mențin corpul în poziție de echilibru : pe de o parte, greutatea masei corporale, adică puterea cu care un corp este tras spre pămînt, care tinde să coboare centrul de greutate al corpului, și, pe de altă parte, acțiunea comună a forțelor musculare și ligamentare, care tind să-l mențină într-o poziție convenabilă necesităților de viață.

În stațiunea bipedă, aparatul locomotor al omului s-a adaptat acestei poziții ortostatice, care este fundamentală pentru statica și dinamica lui. Cum liniile principale de forță care acționează asupra corpului omenesc sînt cele verticale, modificările structurale ale organelor de susținere s-au orientat în această direcție. Așezarea traveelor din diferitele segmente osoase constituie o dovadă concludentă în acest sens ; orice tulburare patologică în statica și dinamica corpului atrage imediat o schimbare a direcției acestor travee, pentru a se respecta liniile verticale de forță legate de orientarea geotropică.

Exercițiile fizice în care se întîlnește poziția. Aceste exerciții sînt deosebit de numeroase. Statica, mersul, alergarea, săritura, schiul, jocurile cu mingea etc. se efectuează din această poziție, caracteristică dealtfel omului.

Poziția segmentelor. Segmentele se găsesc în raporturile descrise la poziția anatomică a corpului omenesc, cu excepția

membrelor superioare care nu sînt rotate în afară şi supinate. În poziţia de drepţi gimnastic, marginile radiale ale antebraţelor şi mîinilor privesc înainte, iar palmele, lipite de corp, privesc median.

Baza de susţinere. Se limitează la suprafaţa trapezoidală determinată de marginea externă a plantelor picioarelor, aflate în rotaţie externă de 10—15° fiecare şi cu călcîiele apropiate (vezi figura 222).

Poziţia centrului de greutate. Aşa cum a arătat *Borelli* încă din 1682, centrul de greutate al corpului se află la încrucişarea planului transversal, care trece prin partea superioară a celei de a doua vertebre lombare, cu planul medio-sagital şi cu planul medio-frontal (vezi figura 1). Văzut din profil, firul cu plumb care indică direcţia gravităţii trece prin faţa vertebrei L_2, prin faţa articulaţiei coxo-femurale şi puţin înapoia axei transversale a genunchiului, înaintea articulaţiei tibio-astragaliene şi cade în mijlocul bazei de susţinere. Văzut din faţă, firul cu plumb se suprapune planului medio-sagital şi cade în mijlocul bazei de susţinere.

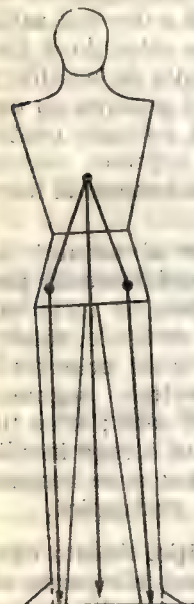


Fig. 225 — Centrul de greutate principal şi centrii de greutate secundari.

În sprijinul biped centrul de greutate principal mai are doi centri secundari de greutate, situaţi în mijlocul articulaţiilor coxo-femurale. Proiecţiile acestor centri secundari cad puţin posterior faţă de centrul zonelor plantare (fig. 225).

Unghiul de stabilitate. Este mic şi se micşorează cu cît baza de susţinere se micşorează prin ridicarea pe vîrfuri şi cu cît ridicarea pe vîrfuri se face mai sus.

Menţinerea echilibrului. Rolul reflexelor posturale. Menţinerea în poziţia ortostatică este, în ultimă analiză, rezultatul unui ansamblu de reflexe. Proprioceptorii trimit permanent spre centru înştiinţări asupra diferitelor intensităţi de tensiune la care sînt supuse tendoanele, ligamentele, articulaţiile şi

mușchii din întregul corp. Exteroceptorii trimit permanent spre centru înștiințări asupra modificărilor de repartizare a presiunii la nivelul plantelor. De o mare importanță pentru procesele de coordonare sînt și canalele semicirculare din urechea internă, precum și senzațiile vizuale, care înștiințează creierul asupra poziției corpului în fiecare moment.

În condiții normale, statica nu ar fi posibilă fără existența reflexelor miotatice. Mușchii, și în special tendoanele, prezintă în imediata lor vecinătate o bogată rețea de elemente receptoare (fusele neuro-musculare) sensibile la tensiune. Cînd tensiunea se mărește printr-o tracțiune oarecare, influxurile senzitive declanșează un act reflex al cărui răspuns constă în creșterea și mai mare a tensiunii musculare. Cu cît tensiunea de tracțiune este mai mare, cu atît mai numeroase vor fi elementele receptoare senzitive impresionante și arcurile reflexe care vor intra în joc. Astfel, contracția reflexă dezvoltată este paralelă cu tracțiunea exercitată. O alungire de 8 mm poate declanșa o mărire de tensiune de 2 000 g, iar o distensie prelungită menține o contracție și mai durabilă.

Cînd corpul omenesc tinde să se aplece înainte, mușchii posteriori ai diferitelor segmente sînt puși în tensiune și șirul reflexelor miotatice intră în acțiune, împiedicînd prăbușirea lui.

În poziția ortostatică de repaus, corpul nu stă perfect imobilizat, ci prezintă o serie continuă și variată de mici oscilații în toate direcțiile. Ritmul și amplitudinea acestor oscilații sînt dictate de necesitățile biomecanice de menținere ale proiecției centrului de greutate în interiorul poligonului de sustentație, în vederea menținerii echilibrului.

Înregistrarea deplasărilor proiecției centrului de greutate ia denumirea de *posturografie* și se realizează cu un aparat special denumit statokinesimetru (Firma „Electronique Appliquée“ Montrouge). Aparatul plasat într-o cameră semiobscură dispune de o platformă de detectare a forțelor oscilațiilor posturale, cu ajutorul unor „mărci“ care transformă presiunile exercitate asupra lor în informații electrice. Informațiile sînt tratate electronic, obținîndu-se pe ecranul unui osciloscop urmele deplasărilor. O fotografie făcută cu expunere lungă (1 min) înregistrează ansamblul deplasărilor.

Subiectul este așezat în picioare pe platforma statokinesimetrului, cu călcîiele lipite și vîrfurile depărtate la un unghi de 45°, în timp ce privește fix o bară fluorescentă verticală, situată la 5 m înaintea lui. Fotografia ansamblului deplasărilor

indică suprafaţa de extensie a acestora, localizarea şi repartizarea presiunilor suportate atît de piciorul drept, cît şi de cel stîng.

Experienţele efectuate de *G. Lord* şi colab. (1976) cu ajutorul statokinesimetrului pe indivizi normali au demonstrat următoarele :

1. Deplasările antero-posterioare sînt mai puţin ample decît cele laterale.

2. Suprafaţa de expansiune a deplasărilor depinde de vîrstă. La indivizii între 23 şi 38 ani, suprafaţa medie este de 29 mm^2, în timp ce la indivizii între 51 şi 74 ani, ea se măreşte la 45 mm^2 (fig. 226 a).

3. Teoretic, echilibrul este cu atît mai stabil, cu cît suprafaţa de expansiune a deplasărilor este mai aproape de centrul poligonului de sustentaţie, dar practic se constată că în 78—80% din cazuri, proiecţia centrului de greutate se situează mai la dreapta şi mai înapoia centrului poligonului de sustentaţie (fig. 226 a şi b).

Sprijinul în poziţia ortostatică nu se realizează simetric pe ambele membre inferioare, ci preferenţial, în special pe mem-

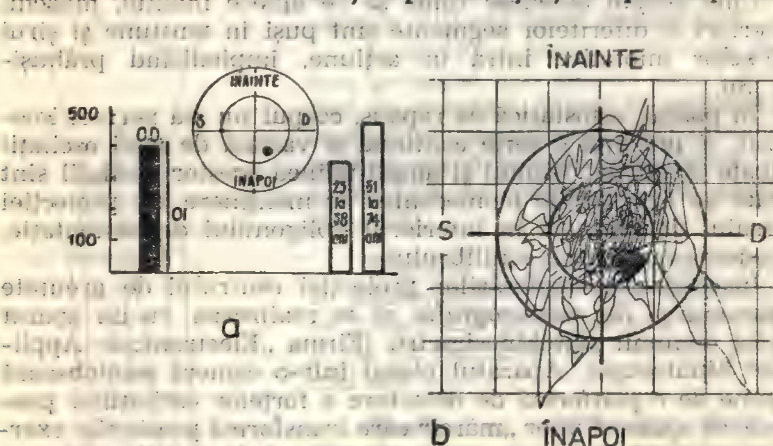


Fig. 226 **— Studiu posturografic (după G. Lord şi colab.) :**

a). Rezultate globale. Înălţimea coloanelor traduce calitatea echilibrului, scăderea lor reprezentînd un echilibru mai stabil. Cu ochii deschişi (OD) echilibrul este mai stabil decît cu ochii închişi (OI). La indivizii tineri este mai stabil decît la vîrstnici. Centrul reproduce schematic suprafaţa de extensie a deplasărilor şi plasarea proiecţiei centrului de greutate cu predominanţă mai înapoi şi mai la dreapta, faţă de centrul poligonului de sustentaţie.

b). Statokinesigramă normală la un sportiv de 25 ani. Suprafaţa de extensie a deplasărilor=25 mm^2. Proiecţia centrului de greutate predominant mai înapoi şi mai la dreapta centrului poligonului de sustentaţie.

brul inferior drept care poate fi denumit *membru inferior predominant pilier.* Aceasta poate explica de ce procentul de leziuni degenerative (coxartroze, gonartroze etc.) este mai ridicat pentru membrul inferior drept.

4. Dacă individul examinat închide ochii, amplitudinea deplasărilor crește mult, sistemele senzitivo-motorii de reglare fiind private de importanta contribuție a impresiilor vizuale (vezi figura 226 a).

Cînd omul devine purtător al unor greutăți (pe spate sau în mînă), echilibrul devine mai puțin stabil, deoarece proiecția centrului de greutate se deplasează de partea greutății, spre marginea poligonului de susținere. Pentru a restabili echilibrul, trunchiul se apleacă de partea opusă greutății, astfel că proiecția centrului de greutate principal al sistemului om-greutate să cadă spre mijlocul poligonului de susținere.

Grupele musculare principale. Gemenii și ischio-gambierii susțin coapsa să nu se flecteze pe gambă. Tricepsul sural susține gamba să nu se flecteze pe picior. Bazinul oscilează între a bascula înainte și înapoi prin jocul dintre ischio-gambieri și psoas. Trunchiul este echilibrat să nu cadă înapoi, prin contracția tonică a marilor drepți abdominali, sau înainte, prin intervenția mușchilor șanțurilor vertebrale. Gîtul și capul tind să cadă înainte, dar sînt susținute de mușchii cefei.

În același timp cu reflexele asupra mușchilor în tensiune, se produce și o reflexie de acțiune inversă asupra mușchilor antagoniști, cărora li se micșorează tensiunea (legea inducției reciproce a lui *Sherrington*). Astfel, întregul sistem muscular se găsește într-o tensiune moderată, într-o stare de contracție posturală reflexă, adică în tonus. Tonusul static sau tonusul de atitudine ne apare astfel ca fiind rezultatul luptei mușchilor contraacțiunii permanente a gravitației. Statica presupune participarea unui mare număr de grupe musculare, ceea ce duce la creșterea metabolismului cu pînă la 22‰ față de metabolismul de repaus.

Mijloacele de stabilizare pasivă. Forței greutății corpului i se opune însă, în statica omului normal, nu numai forța activă a mușchilor, ci și cea pasivă a formațiunilor capsulo-ligamentare. Stabilitatea obținută prin contracția tonică a mușchilor poate fi chiar parțial sau total suplinită în unele cazuri patologice — ca în paraliziile poliomielitice — de stabilitatea pasivă. În acest scop, genunchiul în hiperextensie se stabilizează prin punerea în tensiune a ligamentelor posterioare și prin

inextensibilitatea capsulei (fig. 227). Șoldul în hiperextensie este oprit prin tensiunea ligamentului ilio-femural al lui *Bertin-Bigelow* (ligamentul poziției în picioare). Cînd mușchii genunchiului și ai șoldului sînt deficitari sau lipsiți total de funcție, bolnavul poate totuși să-și mențină o stabilitate pasivă prin hiperextensia șoldului și a genunchiului, situație în care proiecția centrului de greutate trece posterior de șold și ante-

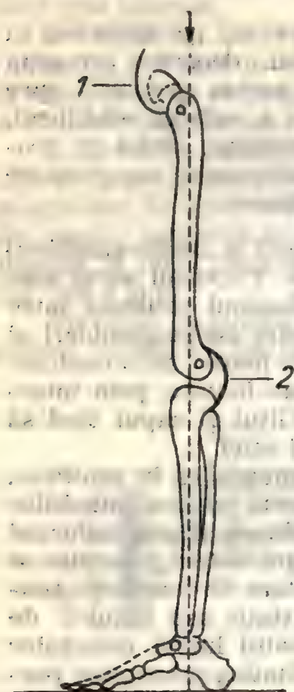


Fig. 227 — Stabilizarea pasivă a membrului inferior se realizează prin punerea sub tensiune a ligamentului lui *Bertin-Bigelow* (1), a capsulei și ligamentelor posterioare ale genunchiului (2). Proiecția centrului de greutate trece înapoia axei transversale a șoldului, înaintea axei transversale a genunchiului și înapoia axei transversale a gleznei.

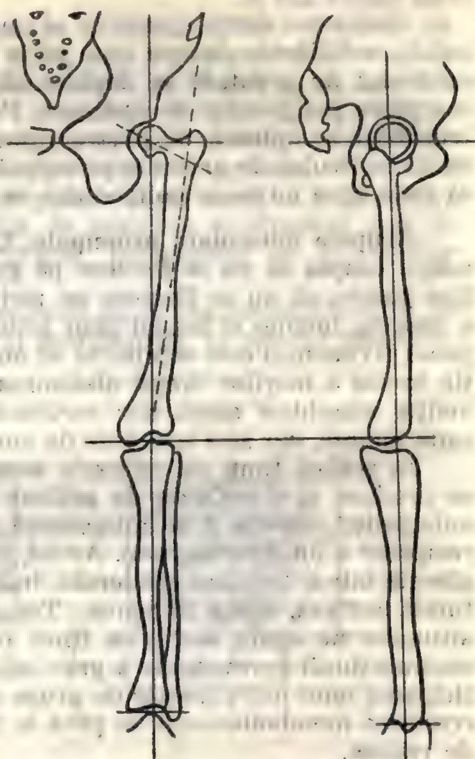


Fig. 228 — Vedere din față și din profil a membrului inferior, cu raporturile axelor de mișcare.

rior de genunchi. Ortostatismul este astfel posibil fără intervenţia vreunui muşchi, cu excepţia acţiunii tonice a tricepsului sural, care împiedică glezna să se flecteze sub greutatea corpului şi care rămîne indispensabilă.

Acţiunea pîrghiilor osteo-articulare. Membrele inferioare acţionează ca lanţuri cinematice închise, deci pîrghiile vor fi de gradul I, de sprijin. Axele lor biomecanice nu se suprapun, ci au orientări diferite (fig. 228, 229, 230). Membrele superioare

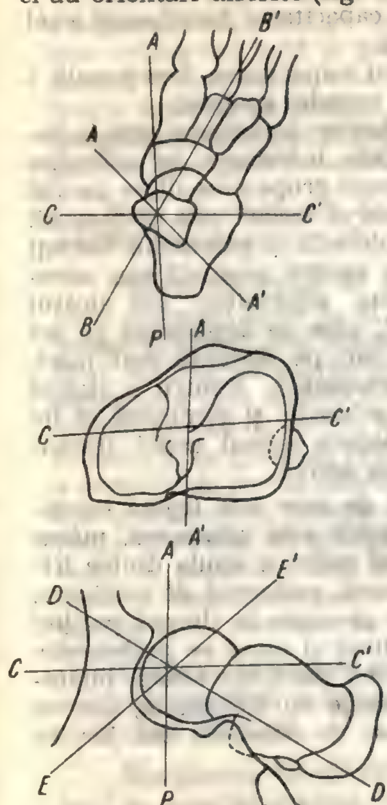


Fig. 229 — Axele gleznei, genunchiului şi şoldului văzute de sus. Axele biomecanice ale acestor articulaţii nu sînt suprapuse. Axa gleznei (AA') este rotată în afară, axa genunchiului (CC') este situată în plan frontal, iar axa şoldului (EE') este rotată intern.

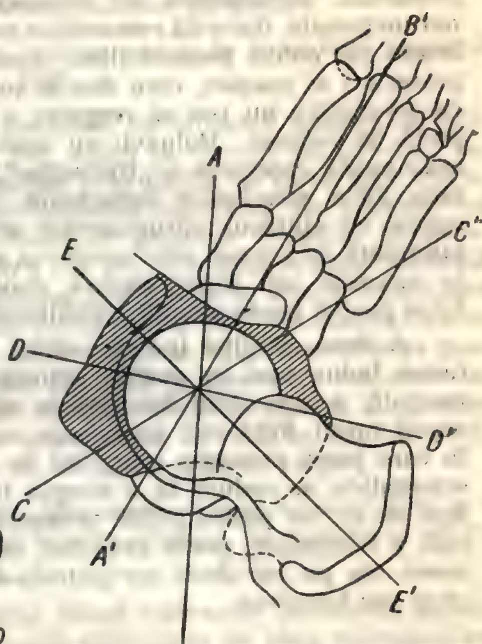


Fig. 230 — Nesuprapunerea funcţională a axelor transversale ale gleznei (EE'), genunchiului (DD') şi şoldului (CC'). Genunchiul este prezentat haşurat.

acționează ca lanțuri cinematice deschise, deci pîrghiile lor vor fi de gradul III, de viteză.

Condițiile minime pentru sprijinul biped. Pentru ca un bolnav cu paralizii întinse ale membrelor inferioare să se poată menține în poziție ortostatică, sînt necesare trei condiții minime :

1) să se păstreze o atitudine funcțională a membrelor inferioare paralizate ;

2) să se păstreze măcar parțial capacitatea funcțională a cel puțin unuia dintre tricepșii surali ;

3) să se păstreze măcar parțial capacitatea funcțională a unora dintre mușchii abdominali și mușchii spatelui.

Atitudinea funcțională a membrelor inferioare este indispensabilă. Paraplegicii cu membrele inferioare în atitudini nefuncționale, datorită retracțiilor unor grupe musculare parțial lezate (de obicei psoasul-iliac, tensorul fasciei lata și mușchii posteriori ai coapsei, care duc la șoldurile și genunchii flectați caracteristic), nu pot să respecte o statică normală sau apropiată de normal. Bolnavii cu aceste diformități vor alcătui așa-numită categorie a „tîrîtorilor", care se deplasează pe sol prin forța membrelor superioare, iar pe distanțe mai mari, numai cu ajutorul cărucioarelor ortopedice. Pentru o statică apropiată de normal este nevoie ca șoldurile și genunchii să fie în extensie sau hiperextensie, deoarece numai astfel stabilitatea pasivă poate suplini stabilitatea activă.

A doua condiție indispensabilă de care este legată menținerea bolnavului în poziția ortostatică este păstrarea, măcar parțială, a capacității funcționale cel puțin a unuia dintre tricepșii surali. Fără nici un triceps sural, poligonul de susținere, în care joacă proiecția centrului de greutate în timpul poziției ortostatice, se reduce la o simplă linie și omul se prăbușește. Iată de ce un poliomielitic prezentînd paralizia totală, bilaterală a tricepșilor, poate eventual merge cu dificultate, dar nu poate sta pe loc decît sprijinindu-se de obiectele din jur, în cîrje sau bastoane.

POZIȚIA STÎND PE UN PICIOR

O importantă variantă a poziției stînd este poziția stînd pe un picior, care se întîlnește în numeroase exerciții fizice. Vom insista, deci, în mod deosebit asupra ei.

Denumire. Sprijin uniped, sprijin monopodal, poziție ortostatică unipedă și plantigradă.

Exercițiile fizice în care se întîlnește poziția. În gimnastică, în afara poziției stînd pe un picior, sprijinul uniped mai este întîlnit în sprijin ghemuit pe un picior, cumpăna cu toate variantele ei etc. Sprijinul uniped este în plus o fază importantă a tuturor exercițiilor fizice de bază : mersul, marșul sportiv, alergarea, săritura și aruncarea.

Poziția segmentelor. Ne vom referi la descrierea poziției din gimnastică, stînd pe un picior. Membrul inferior de sprijin este extins din șold și genunchi, cu piciorul flectat la 90° pe gambă. Trunchiul se află în rectitudine, în continuarea membrului inferior de sprijin. Membrul inferior liber, ca și membrele superioare, pot fi în poziții variate. Întregul corp este ușor înclinat spre partea membrului inferior de sprijin.

Baza de susținere. Se reduce numai la suprafața plantară a piciorului de sprijin (fig. 231).

Poziția centrului de greutate. Se situează undeva la mijlocul distanței între L_5 și D_{10}, adică la nivelul lui L_1—L_2 ; întreaga greutate este transmisă prin liniile de forță spre membrul inferior de sprijin și proiecția centrului de greutate se deplasează spre acesta. Centrul de greutate secundar al membrului inferior de sprijin (b b′) se suprapune pe aceeași verticală cu centrul de greutate principal (a a′), ceea ce atrage o înclinare a corpului de partea acestui membru (fig. 232). Înclinarea face ca întregul membru inferior să fie forțat în valgus, pentru ca proiecția centrului de greutate să cadă în interiorul micșorat al bazei de susținere, care se rezumă numai la plantă. Coapsa se duce în ușoară adducție, genunchiul în valgus, iar piciorul, pentru a sta mai bine pe sol, se așază și el în valgus.

Unghiul de stabilitate. Micșorarea bazei de susținere la o singură suprafață plantară face ca unghiul de stabilitate să fie și el mult micșorat.

Menținerea echilibrului. Rolul reflexelor posturale. Echilibrul se menține cu mai multă dificultate pe baza informațiilor căpătate, pe de o parte, de la telereceptori și, pe de alta, de la exteroceptorii suprafeței plantare de sprijin și ai proprioceptorilor întregului membru inferior de sprijin.

Grupele musculare principale. În general, grupele musculare principale rămîn aceleași care susțin și poziția bipedă, numai că întreaga sarcină este preluată de lanțurile musculare ale membrului inferior de sprijin.

Un rol cu totul deosebit în menținerea poziției îl joacă cuplul muscular psoas-iliac—fesier mijlociu. Psoasul-iliac se suprapune ca direcție axei biomecanice a membrului inferior. De la inserția lui vertebrală, care se suprapune centrului de greutate, psoasul-iliac se îndreaptă în jos și în afară, trece prin fața

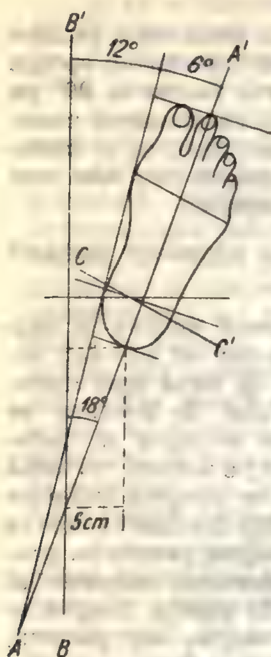


Fig. 231 — Statica piciorului în poziția normală:

AA' — axa longitudinală a piciorului, BB' — axa medială a corpului. CC' — linia bimaleolară.

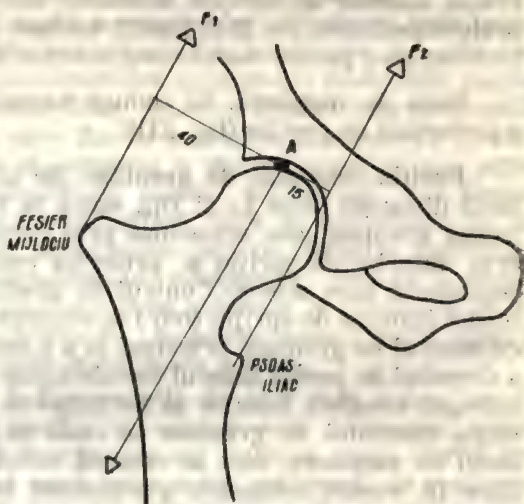


Fig. 232 — Diagrama vectorilor care materializează forțele dezvoltate de cuplul muscular psoas-iliac (F_2) și fesier mijlociu (F_1) și reacția articulară R, în sens contrar, exercitate în punctul A care reprezintă zona de contact dintre capul femural și cavitatea cotiloidă. Valorile cifrice indică distanțele în mm a proiecției vectorului pe punctul A.

centrului geometric al capului femural, se unghiulează (în plan sagital) înapoi, formînd un unghi de 40° deschis înapoi, care înconjură capul femural și se inseră distal pe micul trohanter (vezi figura 179, 4 și 7). Dacă direcția lui s-ar continua în jos, am vedea că ea se proiectează exact în spațiul intercondilian al extremității inferioare a femurului. Prin așezarea și direcția

lui, psoasul-iliac formează la partea anterioară a articulației coxo-femurale o veritabilă chingă musculară, care împinge capul femural înapoi.

Fesierul mijlociu dispus ca un echer, cu unghiul spre înăuntru, formează o chingă musculară laterală, care apasă pe fața laterală a marelui trohanter, apăsînd astfel capul femural în cotil.

În sprijinul unipodal psoasul-iliac reprezintă un *stabilizator antero-intern*, iar fesierul mijlociu, un *stabilizator lateral al șoldului*.

Cuplul psoas-iliac—fesier mijlociu realizează un echilibru de forțe și determină o reacție articulară, care se adaugă aceleia a greutății însăși a corpului (fig. 233). În cadrul sprijinului uniped, în faza de echilibru, se poate nota :

$$F_1 \times 40 = F_2 \times 15,$$

în care

F_1 = forța dezvoltată de fesierul mijlociu.

F_2 = forța dezvoltată de psoasul-iliac

40 și 15 = distanțele în mm ale proiecțiilor celor doi vectori pe punctul A.

Dacă se admite că F_1 este egal cu unitatea = I, rezultă

$$F_2 = I \times \frac{40}{15} = 2{,}66,$$

de unde reacția :

$$R = (F_1 + F_2) = 3{,}66.$$

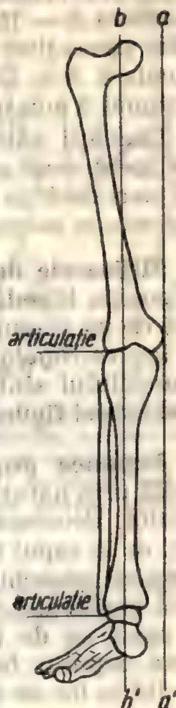


Fig. 233 — Suprapunerea proiecției centrului de greutate principal cu proiecția centrului de greutate secundar.

Orice deplasare, oricît de mică, a zonei de sprijin A spre interior atrage mărirea importantă a reacției R. Astfel, o deplasare de numai 5 mm atrage :

$$F_2 = I \times \frac{45}{10} = 4{,}5.$$

Considerînd F_1 în continuare egal cu unitatea=I, rezultă că reacţia R va creşte de la 3,66 la 5,5, deoarece :

$$R = -(F_1 + F_2) = 5,5.$$

Aceasta înseamnă că pentru o forţă, de exemplu, de 50 kg, dezvoltată de fesierul mijlociu, se va produce o reacţie articulară A = 183 kg, în condiţiile echilibrului de forţe ale cuplului psoas-iliac—fesier mijlociu ; dar, se va produce o reacţie articulară A = 275 kg dacă punctul de sprijin A se deplasează cu numai 5 mm mai înăuntru.

Oscilaţii antero-posterioare şi laterale ale corpului, necesare menţinerii echilibrului, în poziţia stînd pe un picior sînt mai mari decît în poziţia bipedă şi produc importante modificări de presiune asupra segmentelor osoase ale articulaţiei şoldului.

Mijloacele de stabilizare pasivă. Rămîn aceleaşi ca şi pentru poziţia bipedă, cu deosebirea că întreaga sarcină este preluată de un singur membru inferior. În aceste condiţii, ligamentul *Bertin-Bigelow* al şoldului şi ligamentele posterioare ale genunchiului sînt puse sub tensiune dublă faţă de poziţia bipedă (vezi figura 227).

Acţiunea pîrghiilor osteo-articulare. Articulaţia coxo-femurală prin natura construcţiei ei suportă de patru ori greutatea corpului, deoarece, după legile pîrghiilor de gradul I, braţul forţei de la capul femural la marele trohanter (pe care se inseră puternicii muşchi abductori) este de trei ori mai mic decît braţul rezistenţei. Abductorii vor trebui deci să exercite o acţiune egală cu de trei ori greutatea corporală (fig. 234). Astfel, asupra capului femural al membrului inferior de sprijin se exercită în loc de o forţă, să zicem, de 60 kg, una de 240 kg.

Deficienţa abductorilor paralizaţi, dar mai ales a fesierului mijlociu, atrage în mod inevitabil o dezechilibrare a bazinului. Cînd sprijinul se face pe membrul bolnav, bazinul cade de partea sănătoasă, ceea ce constituie un important semn clinic, semnul lui *Trendelenburg* (fig. 235). Uneori însă, prin jocul compensator al trunchiului care se apleacă de partea bolnavă (semnul lui *Duchenne* direct) şi al muşchilor toraco-pelvieni (semnul lui *Trendelenburg* inversat), bazinul poate fi ridicat de partea sănătoasă.

Analiza biomecanică a poziţiei stînd pe un picior poate fi dusă mai departe, aşa cum au demonstrat *P. Rabischong* şi *J. Avril* (1967). Pornind de la aceeaşi situaţie, în care se con-

sideră că verticala, care trece prin centrul de greutate G_1, se proiectează în interiorul bazei de susținere a membrului inferior de sprijin (fig. 236). Verticala va rămîne totuși înăuntrul axei antero-posterioare a articulației coxo-femurale (0), ceea ce

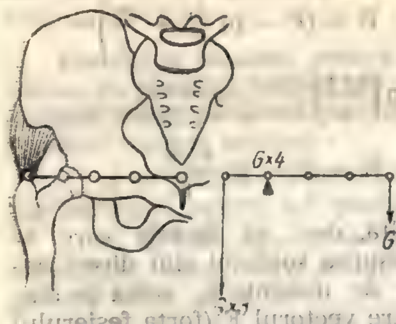


Fig. 234 — Asupra capului femural acționează o forță egală cu de patru ori greutatea corpului.

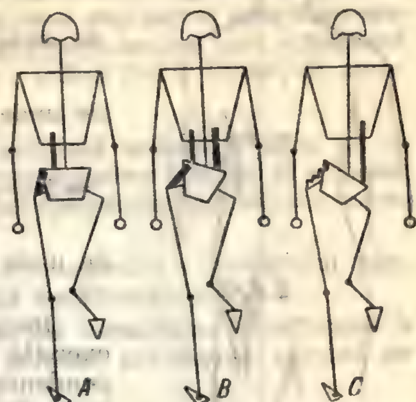


Fig. 235 — Rolul fesierului mijlociu. Fesierul mijlociu normal menține echilibrul la orizontală (A). Fesierul mijlociu deficitar lasă bazinul să cadă de partea opusă (B și C).

presupune, pentru echilibrare, intrarea în joc a forței stabilizatoare a fesierului mijlociu (F). Se poate calcula astfel :

$$(P - p) = f \times b,$$

în care :

P = greutatea corpului,

p = greutatea membrului inferior,

F = forța stabilizatoare a fesierului mijlociu,

a = distanța dintre proiecția verticală a lui G_1 și punctul O (în mm),

b = distanța dintre vectorul F și punctul O (în mm).

Punctul O se consideră a fi nu centrul geometric al articulației, ci zona de sprijin a capului femural pe cavitatea cotiloidă, zona descrisă și în figura 223, ca fiind punctul A. Se realizează astfel un echilibru de balanță, știut fiind că șoldul ac-

ționează în sprijinul uniped, ca o pîrghie de gradul I, cu sprijinul la mijloc. În centrul O va apare reacția R :

$$R = P - p + F,$$

de unde : $F = (P - p)\ \frac{a}{b}$;

de unde : $R = (P - p)\left(I + \frac{a}{b}\right) =$

$= P - p\left(\frac{a+b}{b}\right)$,

de unde : $R = (P - p)\ \frac{a+b}{b}$.

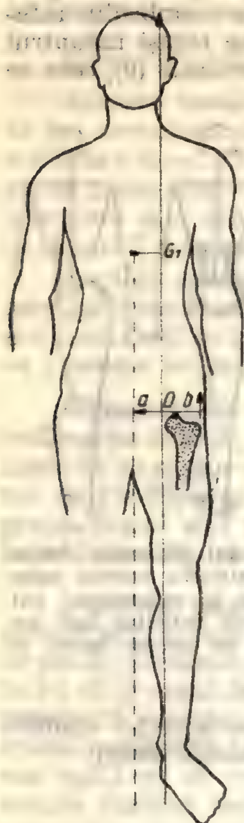


Fig. 236 — Analiza biomecanică a poziției pe un picior, pe stîngul. G_1 — centrul de greutate principal al corpului. O — axa antero-posterioară a articulației coxo-femurale, a — distanța dintre proiecția verticală a lui G_1 și punctul 0 în mm ; b — distanța dintre vectorul F (forța stabilizatoare a fesierului mijlociu) și punctul 0, în mm.

Rezultă, deci, că forțele care se exercită asupra șoldului sînt direct dependente de distanța b, adică de distanța dintre vectorul F (forța fesierului mijlociu) și punctul O (contactul dintre extremitățile osoase articulare).

La un gimnast de 80 kg, al cărui membru inferior cîntărește aproximativ 10 kg, care prezintă o distanță a = 6 cm și o distanță b = 12 cm (deci distanța a+b = 18 cm), reacția totală R pe care o va suporta articulația coxo-femurală în poziția stînd pe un picior va fi :

$$R = (80 - 10)\frac{60+120}{120} = 70 \times 15 =$$

$= 1\,050$ kg

Genunchiul va acționa ca o pîrghie de sprijin, cu sprijinul la mijloc, așa cum s-a arătat la capitolul respectiv (vezi figura 203).

Caracteristic se va comporta articulația gleznei, deoarece, așa cum plastic se exprimă *Vierrordt*, corpul în echilibrul unipodal se găsește ca o tijă în vîrful degetului unui jongler și după

cum remarca *Thomas*, nici degetul, nici tija nu sînt imobile, fiind supuse unor contracţii musculare inconştiente.

Pentru ca pensa tibio-peronieră să nu cedeze, intervin forţe deosebit de importante. Dacă deschiderea pensei este pasivă şi poate fi pusă pe seama elasticităţii ligamentare, apropierea maleolei interne de cea externă este activă şi se datoreşte contracţiei flexorilor piciorului şi a peronierilor, care acţionează cu o forţă de strîngere, aşa cum a arătat *Pol le Coeur*, de aproximativ 200 kg.

Condiţiile minime pentru sprijinul uniped. Pentru ca un bolnav cu paralizii întinse ale unui membru inferior să se poată menţine totuşi pe acesta în timpul sprijinului uniped, sînt necesare trei condiţii minime :

1) să se păstreze o atitudine funcţională a membrului inferior paralizat, pentru a fi posibilă stabilizarea pasivă ;

2) să se păstreze măcar parţial capacitatea funcţională a tricepsului sural, care să nu permită prăbuşirea gambei pe picior ;

3) să se păstreze măcar parţial capacitatea funcţională fie a fesierului mijlociu de partea membrului de sprijin, fie a muşchilor abdominali şi toraco-pelvieni de partea opusă.

POZIŢIA STÎND PE GENUNCHI

Denumire. În această poziţie, axa lungă a corpului cade perpendicular pe sol, dar genunchii sînt îndoiţi şi sprijinul se face pe genunchi şi pe faţa dorsală a picioarelor extinse.

Exerciţiile fizice în care se întîlneşte poziţia. În afară de gimnastică, poziţia mai poate fi întîlnită sub diferite variante la tir, canoe, lupte etc.

Poziţia segmentelor. Trunchiul se află extins, membrele superioare extinse pe lîngă trunchi, şoldurile extinse, genunchii îndoiţi la 90°, gambele aproximativ paralele cu solul, piciorul extins.

Raporturile axelor biomecanice ale segmentelor se menţin aceleaşi ca şi la poziţia stînd, cu excepţia axei gleznei, care nu mai cade sub axele celorlalte articulaţii ale membrelor inferioare.

Baza de susţinere. Este de forma unui paralelipiped şi mult mai mare decît aceea a poziţiei stînd. Sprijinul se face

înainte de genunchi şi înapoi pe feţele dorsale ale picioarelor extinse.

Greutatea corpului se transmite şoldului prin tuberozităţile tibiale anterioare, ligamentele rotuliene şi rotulă. Între aceste formaţiuni şi tegumente se găsesc o serie de burse care favorizează sprijinul (fig. 237).

Poziţia centrului de greutate. Coboară spre L_3—L_4.

Unghiul de stabilitate. Este relativ mare.

Menţinerea echilibrului. Baza de susţinere lărgită, coborîrea centrului de greutate şi unghiul mare de stabilitate favorizează menţinerea echilibrului. Cum proiecţia centrului de greutate cade spre limita anterioară a patrulaterului de sprijin, echilibrul se menţine cu uşurinţă cînd acesta se apleacă înapoi.

Fig. 237 — Bursele genunchiului văzute pe o secţiune medio-sagitală :

1 — tegumentele şi ţesutul celular subcutan, 2 — aponevroză, 3 — tendon cvadricipital, 4 — tendon rotulian, 5 — rotulă, 6 — femur, 7 — tibie, 8 — ligament grăsos, 9 — sinovială, a — bursă prerotuliană subcutanată, b — bursă prerotuliană subaponevrotică, c — bursă prerotuliană profundă, d — bursă pretibială superficială, e — bursă pretibială profundă, f — seroasă articulară.

Grupele musculare principale. Muşchii cefei susţin capul să nu cadă înainte ; muşchii şanţurilor vertebrale şi abdominalii echilibrează trunchiul ; muşchii ischiogambieri menţin şoldul extins. Cvadricepsul, pus sub tensiune, prin flectarea genunchiului, realizează un puternic manşon muscular în jurul coapsei. Coapsa este menţinută la unghi drept pe gambă prin jocul alternativ al cvadricepsului şi ischio-gambierilor. Flexorii piciorului şi extensorii degetelor aplică pe sol faţa dorsală a picioarelor, cu intensitatea necesară menţinerii poziţiei.

Acţiunea pîrghiilor osteo-articulare. La trunchi şi şold pîrghiile acţionează în condiţii identice cu cele din poziţia stînd. Dar gamba şi piciorul sînt puse în situaţii deosebite. Genunchiul flectat la 90° pune sub tensiune cvadricepsul, iar piciorul extins pune sub tensiune flexorii piciorului şi extensorii degetelor.

POZIŢIA GHEMUIT

Denumire. Corpul cu şoldurile, genunchii şi gleznele flectate se sprijină pe plante sau pe partea anterioară a regiunilor plantare (pe vîrfuri).

Poziţia segmentelor. Trunchiul este extins, membrele superioare extinse pe lîngă trunchi ; membrele inferioare flectate din şold, genunchi şi glezne.

Baza de susţinere. Poate fi aceeaşi ca în poziţia stînd sau poate fi redusă la partea anterioară a regiunilor plantare.

Poziţia centrului de greutate. Coboară la nivelul L_5.

Unghiul de stabilitate. Este relativ mare cînd sprijinul se face pe întreaga suprafaţă plantară, dar se micşorează cînd sprijinul se face numai pe vîrfuri, călcîiele fiind ridicate.

Menţinerea echilibrului. Este dificilă, deoarece proiecţia centrului de greutate cade mult spre latura posterioară a bazei de susţinere. De aceea, înclinarea trunchiului înapoi atrage pierderea echilibrului, iar înclinarea trunchiului înainte, pînă la un punct, uşurează menţinerea acestuia.

Grupele musculare principale. Menţinerea poziţiei se datoreşte intrării în acţiune a tuturor grupelor musculare ale membrelor inferioare : muşchii gambei blochează glezna flectată ; muşchii coapsei blochează genunchiul flectat ; ischio-gambierii menţin bazinul în echilibru ; muşchii şanţurilor vertebrale şi ai cefei menţin poziţia trunchiului şi a capului.

Poziţia este obositoare şi nu poate fi menţinută mult timp.

POZIŢIA ŞEZÎND

Denumire. Corpul se sprijină, prin tuberozităţile ischiatice şi picioare, pe sol sau pe un suport oarecare (bancă de gimnastică etc.).

Poziţia segmentelor. Trunchiul poate fi extins sau flectat. Coapsele sînt flectate pe bazin, iar gambele pe coapse. Amplitudinea de flexie diferă, picioarele sînt extinse pe gambe atît cît este necesar pentru ca plantele să se aşeze pe sol sau pe suport.

Baza de susţinere. Dacă sprijinul se face pe sol sau pe un scaun şi pe sol, baza de susţinere este foarte mare. Dacă însă sprijinul se face pe bîrnă, baza de susţinere se micşorează.

Poziţia centrului de greutate. Centrul de greutate este coborît la nivelul L_4—L_5. Proiecţia centrului de greutate cade spre partea posterioară a bazei de susţinere.

Unghiul de stabilitate. Este variabil, în raport cu suprafaţa bazei de susţinere.

Menţinerea echilibrului. Dacă baza de sprijin este mare, echilibrul se menţine cu uşurinţă. Înclinarea trunchiului înapoi duce la pierderea echilibrului, iar aplecarea trunchiului înainte uşurează menţinerea echilibrului. Un rol deosebit în menţinerea poziţiei revine exteroceptorilor regiunilor fesiere şi plantare, care transmit sistemului nervos central informaţii asupra variabilităţii intensităţilor de presiune.

Grupele musculare principale. Menţinerea poziţiei şezînd pe sol se datoreşte în primul rînd muşchilor ischio-gambieri care îşi iau punct fix distal, menţinînd gambele flectate pe coapse şi în acelaşi timp asigurînd echilibrul bazinului, nelăsîndu-l să se aplece înainte. În echilibrarea bazinului şi a trunchiului şi pentru a nu le lăsa să se aplece înapoi, un rol deosebit îl joacă şi cei 2 muşchi psoas-iliaci, care îşi iau punct fix distal. Muşchii gambelor menţin picioarele în poziţia în care plantele sînt aşezate pe sol. Muşchii şanţurilor vertebrale şi ai cefei menţin coloana şi capul.

În poziţia şezînd pe bancă preponderenţa acţiunii ischiogambierilor se reduce ; în poziţia şezînd pe un scaun cu spetează acţiunea lor este aproape anihilată, echilibrarea bazinului şi trunchiului fiind preluată de grupele musculare plasate deasupra tuberozităţilor ischiatice.

POZIŢIA STÎND PE MÎINI

Denumire. Axa lungă a corpului cade perpendicular pe sol, iar sprijinul se realizează pe feţele palmare ale membrelor superioare extinse din coate şi din umeri.

Poziţia segmentelor. Mîinile sînt flectate dorsal la 90°, antebraţele extinse pe braţe, braţele în abducţie de 180° pre-

lungesc trunchiul în jos, trunchiul extins ; membrele inferioare extinse în sus.

Baza de susținere. Este redusă la suprafața cuprinsă între marginile externe ale mîinilor (fig. 238).

Poziția centrului de greutate. Este situată la nivelul D_{12}.

Unghiul de stabilitate. Este relativ mic.

Menținerea echilibrului. Dată fiind poziția înaltă a centrului de greutate, baza redusă de susținere și unghiul de stabilitate mic, menținerea echilibrului este dificilă. O deosebită importanță o au receptorii feței palmare a mîinii, care transmit sistemului nervos central impresiile legate de modificările de presiune ale diferitelor zone. Cînd corpul tinde să cadă pe spate, receptorii pulpelor degetelor sînt mai intens apăsați. Cînd corpul tinde să cadă ventral, receptorii regiunilor tenariene și hipotenariene sînt cei mai intens apăsați. Cînd corpul tinde să cadă lateral, sînt mai intens apăsați receptorii suprafeței palmare de partea respectivă.

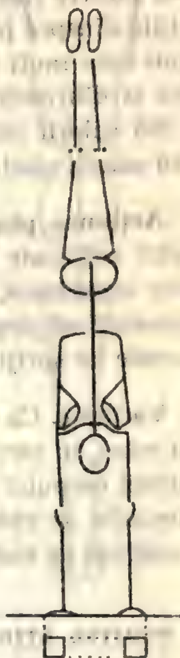


Fig. 238 — Bază de susținere în poziția stînd pe mîini.

Grupele musculare principale. Mîna flectată dorsal la 90° pe antebraț este menținută în această poziție de palmarul mare, palmarul mic și cubitalul anterior. Prin modificarea intensității contracției lor, flexorii și extensorii degetelor stabilizează menținerea mîinii într-un unghi convenabil față de antebraț. Cotul este menținut în extensie de tricepsul brahial. Brațul este menținut în abducție de 180° de deltoid și coraco-brahial. Musculatura descendentă a centurii scapulare aplică omoplatul pe

torace și susține clavicula și omoplatul. Mușchii abdominali mențin trunchiul să nu cadă pe spate, iar mușchii șanțurilor vertebrale îl mențin să nu cadă ventral. Fesierul mare menține coapsa în hiperextensie pe bazin, cvadricepsul menține gamba extinsă pe coapsă, iar tricepsul sural extinde piciorul.

Practic, se poate afirma că toate grupele musculare ale corpului omenesc intervin în menținerea acestei poziții, luîndu-și puncte fixe pe inserțiile dinspre sol și acționînd prin inserțiile dinspre picioare, asupra segmentelor respective. Efortul depus este mult mai mare decît în poziția stînd, fapt care rezultă și din consumul caloric. În poziția stînd, consumul este de 365 calorii mici, pe cînd în poziția stînd pe mîini este de 3 880 calorii mici.

Acțiunea pîrghiilor osteo-articulare. Cele mai importante pîrghii acționate în poziția stînd pe mîini sînt cele ale membrelor superioare, care devenind portante ale greutății corpului, acționează ca pîrghii de gradul I, deci ca pîrghii de sprijin, cu punctele de sprijin la mijloc.

Variante. Ca variantă mai importantă amintim poziția stînd pe o mînă, în care atît menținerea echilibrului, cît și susținerea greutății corpului devin mult mai dificile, deoarece poligonul de sustentație se reduce la suprafața palmară a mîinii de sprijin, iar unghiul de stabilitate se micșorează.

POZIȚIA ATÎRNAT

Denumire. Corpul este atîrnat prin membrele superioare de un punct de sprijin oarecare. Nivelul la care se face prehensiunea obiectului în atîrnare este deasupra liniei biacromiale.

Poziția segmentelor. Mîinile prind obiectul, iar membrele superioare, trunchiul și membrele inferioare sînt extinse.

Baza de susținere. Este reprezentată de suprafețele palmare ale mîinilor (fig. 239).

Poziţia centrului de greutate. Este situată la nivelul D_{12}—L_1, exact în mijlocul trunchiului şi ceva mai posterior.

Menţinerea echilibrului. Nu este dificilă, deoarece proiecţia centrului de greutate cade în sens invers faţă de baza de susţinere. Corpul atîrnat se poate asemui unui pendul şi realizează o formă de echilibru stabil. Deplasat într-un sens oarecare, el tinde să revină la poziţia iniţială.

Poziţia reprezintă modul uzual al posturii şi locomoţiei prin brahiaţie, caracteristic primatelor. Postura şi locomoţia prin brahiaţie, la animalele cu o musculatură a membrelor inferioare bine dezvoltată, este mult mai economicoasă şi mai eficientă decît bipedia. Agilitatea în deplasare a maimuţelor îşi găseşte explicaţia în înseşi condiţiile biomecanice specifice brahiaţiei.

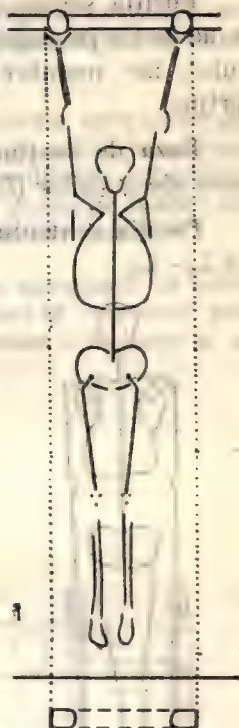


Fig. 239 — Bază de susţinere în poziţia atîrnat.

Grupele musculare principale. Poziţia este menţinută în primul rînd de muşchii prehensori. Întreaga musculatură îşi inversează punctele de sprijin, care de astă dată sînt luate pe capetele distale ale muşchilor plasate spre baza de sprijin. Prin capetele lor proximale, muşchii ajung astfel să tragă în sus de diferite segmente. Brahialul anterior şi bicepsul brahial trag de braţ. Deltoidul, coraco-brahialul, supraspinosul, subspinosul, subscapularul, rotundul mare, rotundul mic, pectoralul mare trag de centura scapulară. Dinţatul mare, fasciculele inferioare ale trapezului şi mai ales dorsalul mare trag de trunchi.

Participarea tuturor acestor grupe musculare face ca în poziţia corectă de atîrnat claviculele să se orizontalizeze, iar marginile interne ale centurii scapulare să se apropie de coloana vertebrală.

POZIȚIA SPRIJINIT

Denumire. În această poziție corpul este sprijinit, prin membrele superioare, de un punct de sprijin oarecare. Nivelul la care se face prehensiunea obiectului de sprijin este sub linia biacromială.

Poziția segmentelor. Membrele superioare sînt extinse și în adducție pe lîngă trunchi ; sprijinul se face la nivelul bazinului, iar membrele inferioare atîrnă printre punctele de sprijin.

Baza de susținere. Este reprezentată de suprafețele palmare ale mîinilor (fig. 240).

Poziția centrului de greutate. Se află aproximativ la nivelul L_1—L_2.

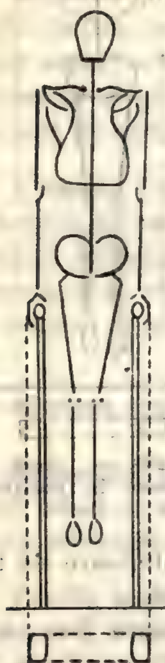


Fig. 240 — Bază de susținere în poziția sprijinit.

Menținerea echilibrului. Nu reprezintă dificultate, deoarece proiecția centrului de greutate cade în sens invers față de baza de susținere. Receptorii suprafețelor palmare joacă același rol ca și în poziția stînd pe mîini. Poziția sprijinit realizează o formă de echilibru stabil și intră tot în cadrul posturilor de tip brahiație.

Grupele musculare principale. Sînt aceleași ca și pentru poziția stînd pe mîini, cu excepția mușchilor umărului. Un rol deosebit îl joacă mușchii adductori ai brațului (dorsalul mare, pectoralul mare, dințatul mare, subscapularul, rotundul mare și rotundul mic), lor revenindu-le sarcina de a menține poziția. Cu cît brațele sînt mai depărtate de trunchi, cu atît sarcina adductorilor este mai dificilă. În sprijin lateral (cruce) la inele nu pot sta decît acei gimnaști care au deosebit de dezvoltată musculatura adductoare a brațelor.

Acţiunea pîrghiilor osteo-articulare. Membrele superioare, devenite membre de sprijin, acţionează ca şi în poziţia stînd pe mîini. Pîrghiile lor devin pîrghii de gradul I, cu sprijinul la mijloc.

POZIŢIA SPRIJINIT CULCAT

Denumire. În această poziţie, axa lungă a corpului este înclinată faţă de sol. Sprijinul se face atît prin membrele superioare, cît şi prin membrele inferioare.

Poziţia segmentelor. Trunchiul şi membrele inferioare sînt extinse ; membrele inferioare iau contact cu solul printr-una din feţele sau marginile picioarelor ; membrele superioare, depărtate de trunchi (în proiecţie înainte, proiecţie înapoi sau abducţie), se sprijină pe sol prin suprafeţele lor palmare.

Baza de susţinere. Este foarte mare şi apropiată ca întindere de poziţia culcat. Ea se poate mări încă şi mai mult prin depărtarea punctelor de sprijin ale membrelor inferioare şi ale celor superioare (fig. 241).

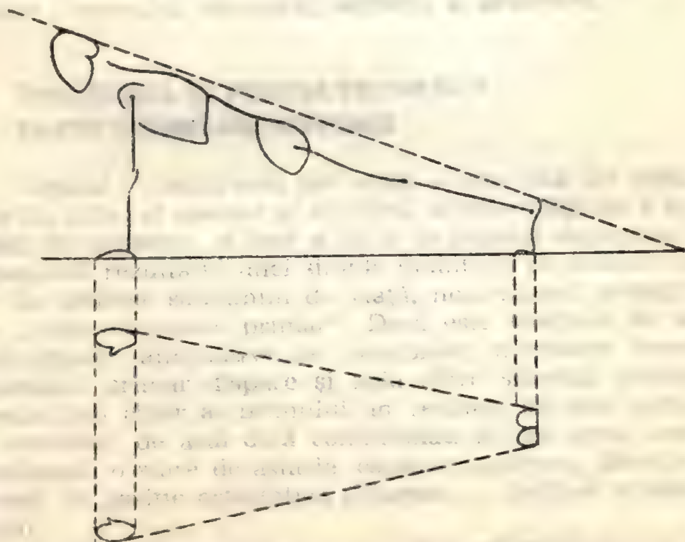


Fig. 241 — Bază de susţinere în poziţia sprijin culcat înainte.

Poziţia centrului de greutate. Este apropiată de sol.

Menţinerea echilibrului. Este relativ uşoară. Un rol important revine receptorilor suprafeţelor palmare şi ai picioarelor.

Grupele musculare în efortul static sînt aceleaşi pentru membrele superioare ca şi în sprijin. Pentru membrele inferioare sînt aceleaşi grupe ca şi în poziţia stînd. În sprijin culcat, un rol deosebit revine muşchilor trunchiului, coapselor, abdominalilor, ischio-gambierilor şi fesierului mare.

În sprijin culcat înainte intervin în primul rînd muşchii şanţurilor vertebrale, ai cefei şi psoasul-iliac.



DEPRINDERILE MOTORII COMPLEXE

Deprinderile motorii complexe sînt acte reflexe catenare, transformate în acţiuni biomecanice care permit locomoţia diferitelor segmente ale corpului omenesc, precum şi a corpului în întregime. Aşa cum afirmă *A. D. Novikov*, „un exerciţiu fizic nu este însă o deplasare mecanică a segmentelor în spaţiu, ci presupune o acţiune, o dirijare cu un anumit scop. Omul apare astfel şi în cadrul acestor exerciţii ca o personalitate întreagă, conştientă".

În această ultimă parte ne vom ocupa de unele deprinderi motorii complexe, comune majorităţii exerciţiilor fizice, şi anume : mersului, alergării, săriturii şi aruncării.

ÎNSUŞIREA ŞI PERFECŢIONAREA DEPRINDERILOR MOTORII

Copilul — după cum am văzut — are încă din viaţa intrauterină reflexul absolut al mişcării, al necesităţii de a se mişca. Odată cu naşterea, el face o serie de mişcări dezordonate, care reprezintă rezultatul unei simple înlănţuiri de reflexe absolute.

În primele săptămîni de viaţă, noul-născut prezintă chiar un „mers automatic primar". Dacă este susţinut de axile, el face mişcări alternative cu membrele inferioare. Acest mers automatic primar dispare şi abia către sfîrşitul primului semestru sau chiar al primului an reapare un nou automatism al mersului, de astă dată condiţionat. În tot acest interval se instalează o stare de astazie caracterizată prin absenţa echilibrului în poziţie ortostatică (*Thomas* — 1940 şi *Minkovski* — 1955).

Posibilitatea apariţiei unui număr nelimitat de noi deprinderi motorii şi a transformării lor în direcţiile voite se bazează

pe proprietatea specială a scoarţei emisferelor cerebrale denumită de *Pavlov* *plasticitate*.

Realizarea înlănţuirii reflexelor cu scopul formării reflexelor catenare, care stau la baza deprinderilor motorii, este posibilă datorită semnalizărilor continue pe care le primeşte scoarţa de la proprioceptorii din muşchi, tendoane şi articulaţii, de la alte organe interne, de la sensibilitatea tactilă (prin jocul de presiuni exercitat asupra exteroceptorilor), de la impresiile vizuale (prin urmărirea deplasării în raport cu obiectele înconjurătoare) şi de la simţul orientării în spaţiu (prin intervenţia canalelor semicirculare). Toate aceste semnalizări se adună în zona motorie corticală, care deţine capacitatea de a percepe, a analiza şi sintetiza excitaţiile kinestetice venite din organele aparatului locomotor. Aceasta este, în fond, baza procesului de coordonare prin care *Sadcikov* înţelege „totalitatea proceselor care permit sistemului nervos central să dirijeze în mod continuu şi permanent mişcările".

După *A. N. Krestovnikov*, se poate afirma, în linii mari, că formarea unei deprinderi motrice trece prin patru faze:

1. În prima fază, scoarţa se găseşte într-o *stare de excitabilitate* care interesează centrii tuturor grupelor musculare, nu numai a celor care urmează să intre în acţiune. Acest fapt explică mişcările necoordonate ale începătorului.

2. În a doua fază, prin ciocnirea proceselor de excitaţie cu cele de inhibiţie, se produce aşa-numitul *proces de diferenţiere*, în care predomină unul dintre aceste două procese. În timpul mişcărilor, organismul caută de la început să transforme sistemul său cu mai multe grupe — lanţul de inele *Farfel* — într-unul mai dirijat (de obicei prin blocarea unor segmente), ceea ce duce la o executare rigidă şi stîngace.

3. În a treia fază, *faza de concentrare*, procesele de excitaţie şi de frînare se concentrează, se delimitează şi se sistematizează. Prin repetarea exerciţiilor se bătătoresc căile senzitivo-motorii, dispar mişcările inutile; mişcarea devine uşoară, rapidă şi precisă. Corpul nu mai este sub stăpînirea forţelor externe, ci începe să le valorifice pentru executarea diferitelor mişcări ale segmentelor lui, consolidîndu-se astfel o structură şi un ritm specifice mişcării.

4. În ultima fază, dezvoltarea ulterioară a deprinderii motrice se caracterizează prin *perfecţionarea controlului* pe care-l exercită simţul kinestetic şi celelalte elemente ale sensibilităţii. Însuşirea detaliilor mişcării duce la apariţia *stereotipului dinamic* în scoarţa cerebrală, adică a unor relaţii func-

ționale complexe în care procesele de excitație și de frînare alternează în anumite porțiuni senzoriale, determinînd starea de excitație și de frînare a anumitor zone motrice.

Sportivul ajunge astfel să se integreze total în mediul în care se mișcă și să considere materialele cu care lucrează drept prelungiri ale membrelor lui. Săritorul va face corp comun cu prăjina, iar aruncătorul cu sulița, discul, ciocanul sau greutatea. Cunoscuta expresie atletică de a „simți" sulița, ciocanul, discul sau greutatea este explicată prin atingerea acestui înalt grad al dezvoltării deprinderii motrice.

Deprinderea motrică rezultă deci din formarea lanțului de reflexe condiționate. Pentru ca aceasta să fie posibilă, este absolută nevoie ca emisferele cerebrale să fie în stare de activitate. Experiențele făcute de *Pavlov* și elevii săi au arătat că formarea legăturilor noi, punerea în circuit și stabilirea unor căi nervoase noi sînt posibile numai la un animal în stare de veghe. Dacă animalul de experiență este mai mult sau mai puțin somnoros, formarea reflexului se prelungește foarte mult și este îngreuiată sau devine absolut imposibilă. De aceea sportivul care vrea să-și perfecționeze un exercițiu sau bolnavul care vrea să-și recupereze o funcție pierdută, trebuie să contribuie activ la toate exercițiile și să execute fiecare mișcare sub autocontrol permanent.

Conexiunile temporare se întăresc prin repetarea exercițiilor, dialectica dezvoltării obișnuinței constînd în aceea că acolo unde este dezvoltare, fiecare viitoare mișcare este mai bună decît cea precedentă. Un aruncător cu discul execută cu fiecare aruncare, aparent, același număr de mișcări. În realitate, de fiecare dată situația este alta și eforturile diferă. Inerția, oboseala, sudoarea din palme, gropile făcute în zgura din cerc, toate obligă la o acomodare și o coordonare cu totul diferită de la o aruncare la alta.

Pe măsura formării deprinderii motrice se lărgește și numărul variantelor mișcării. *Însușirea unui stil nu este decît repetarea a zeci și sute de diferite variante ale aceleiași mișcări sau, altfel spus, este imprimarea de o manieră personală a tehnicii, prin repetarea îndelungată și în situațiile cele mai diferite a aceluiași exercițiu, în totalitate sau fragmentat.*

La început, în faza de excitație mărită și în faza de diferențiere, greșelile trebuie înlăturate sistematic. Apoi se însușește o deprindere motrică ce respectă din ce în ce mai mult o tehnică avantajoasă individului și calităților sale morfo-funcționale. La sfîrșit se caută să se creeze condiții speciale dife-

rite (materiale, echipament divers, lumină variată, temperatură diferită etc.). Astfel variantele mişcării se înmulţesc, iar deprinderea se întăreşte, rezultatul final fiind desăvîrşirea stilului.

CALITĂŢILE BIOMOTRICE

Intrarea în acţiune a factorilor morfo-funcţionali care conlucrează la efectuarea exerciţiilor fizice scoate în evidenţă o serie de însuşiri esenţiale, care iau numele de *calităţi biomotrice* sau *calităţi fizice* (denumite şi calităţi psiho-fizice, calităţi atletice etc.). Calităţile biomotrice sînt deci aspecte esenţiale ale actului motric desfăşurat în timp şi spaţiu.

Recunoaştem existenţa a şase calităţi biomotrice principale şi anume : viteza (V), îndemînarea (I), forţa (F), rezistenţa (R), detenta (D) şi supleţea (S). Recunoaşterea izolată a acestor calităţi este convenţională, deoarece o anume calitate se poate doar reflecta mai pregnant în cadrul contextului complex al mişcării, care se desfăşoară pe baza tuturor celor şase calităţi. O calitate nu poate acţiona izolat, în afara celorlalte, izolarea lor fiind arbitrară şi avînd un scop pur didactic de studiu, legat de necesităţile practice ale metodologiei exerciţiilor fizice.

Factorii de bază ai calităţilor pot fi împărţiţi în 5 mari categorii :

1. *Factori structurali anatomici.*
2. *Factori fizio-biochimici.*
3. *Factori biomecanici.*
4. *Factori tehnici.*
5. *Factori psihici.*

Prezenţa acestor factori de bază este obligatorie în cadrul fiecăreia dintre calităţi. Ceea ce deosebeşte calităţile este rolul mai mult sau mai puţin important pe care aceşti factori îl au, deci, ierarhizarea valorilor contribuţiei lor.

1. **Factorii structurali anatomici :**

a) integritatea organică a sistemelor şi aparatelor care întreţin viaţa organo-vegetativă a organismului ;

b) integritatea sistemului nervos somatic şi a arcurilor nervoase somatice ;

c) integritatea lanţurilor osteo-musculo-articulare.

2. **Factorii fizio-biochimici :**

a) integritatea funcţională a sistemelor şi aparatelor organismului ;

b) viteza de reacţie (în general) şi ecuaţia personală (în particular).

3. **Factorii biomecanici :**

a) poziţia economică a centrului de greutate a corpului şi a centrelor de greutate ale fiecărui segment în parte.

b) folosirea la maximum a forţelor exterioare (gravitaţie, inerţie etc.).

4. **Factori tehnici :**

În raport cu specificul individual al factorilor anatomici, fizio-biochimici şi biomecanici, calităţile biomotrice sînt dependente şi de nivelul de însuşire al tehnicii exerciţiului în care ele se manifestă. O tehnică corectă uşurează manifestarea calităţilor, iar una incorectă o îngreuiază.

5. **Factori psihici :**

Calităţile biomotrice sînt legate de anumite tipuri de comportament psihic. Se poate vorbi de o psihologie legată de anumite grupe de exerciţii fizice şi de o serie de caracteristici psihice ale diferiţilor sportivi, pe ramuri de sport.

VITEZA (V)

Este calitatea biomotrică ce permite desfăşurarea mişcării în spaţiu în minimum de timp. Ea se manifestă sub trei forme esenţiale : viteza de reacţie, viteza de execuţie şi viteza de repetiţie.

Viteza de reacţie, care stă dealtfel şi la baza celorlalte două forme esenţiale de manifestare ale vitezei, se referă la timpul în care o impresie periferică este recepţionată, transmisă şi urmată de o reacţie motorie (*viteza perioadei latente a mişcării*). Timpul de reacţie depinde de la individ la individ şi prezintă deci o *ecuaţie personală* şi de la analizor la analizor şi prezintă deci şi o *ecuaţie specifică*. Astfel, la persoanele neantrenate viteza de reacţie la semnalele vizuale este de 0,20—0,35 s, iar la cele antrenate coboară la 0,15—0,20 s. De asemenea, la persoanele neantrenate viteza de reacţie la semnalele sonore (pocnetul pistolului la start) este de 0,17—0,27 s, iar la cele antrenate poate coborî pînă la 0,05—0,07 s.

Lanţurile musculare prezintă viteze de reacţie diferite. Astfel, lanţurile musculare care asigură menţinerea poziţiilor prezintă o viteză de reacţie mai mică decît acelea care realizează mişcările (*Korobzov* şi *Kitum*).

Viteza de execuţie şi de repetiţie se referă la timpul în care se efectuează o mişcare voluntară. Viteza de execuţie este viteza unei mişcări separate şi ea se manifestă în activitatea sportivă sub forma *vitezei de explozie* (box, aruncări, start, tenis, ultima fază a detentei etc.) şi a *vitezei de interceptare* (în jocurile sportive).

Viteza de repetiţie se referă la frecvenţa aceleiaşi mişcări în unitatea de timp. În probele atletice de sprint şi în ciclism, frecvenţa maximă de execuţie a paşilor ajunge la cinci repetări pe secundă. În aceste condiţii de frecvenţă maximă, muşchii intervin numai în zonele externe ale amplitudinilor de mişcare şi timpul lor de acţiune devine foarte scurt, astfel că ei nu reuşesc să se scurteze evident, regimul de lucru apropiindu-se de un regim izometric.

Factorii morfo-funcţionali cei mai importanţi pe care se bazează viteza sînt receptorii, releele nervoase senzitive, analizorii, releele nervoase motorii, lungimea fibrelor musculare şi lungimea braţelor de forţă ale pîrghiilor osoase.

Din punct de vedere biochimic, viteza este dependentă de concentraţia de acid adenozintrifosforic în muşchi (ATP) şi de rapiditatea reacţiilor de disociere şi de resinteză ale acestuia. Timpul scurt de desfăşurare a probelor de viteză impune resinteza ATP-ului aproape exclusiv (90%) pe seama mecanismelor anaerobe, ceea ce duce la apariţia datoriei de oxigen.

Capacitatea de efort a inimii şi plămînilor, ca şi metabolismul general, nu joacă un rol deosebit în cursele sub 60 m, dar intervin progresiv pe măsură ce se măreşte distanţa de alergare în regim maximal de efort, de la 100 m la 600 m.

ÎNDEMÎNAREA

Este calitatea care permite desfăşurarea mişcării într-un ritm adecvat şi cu o eficienţă maximă pe o anumită traiectorie voluntar sau fortuit prestabilită. Definiţia propusă de *Novikov* consideră îndemînarea ca pe acea „aptitudine de a stăpîni coordonarea motrică, de a o transforma şi de a o comuta de la anumite acţiuni precis coordonate spre alte acţiuni, în concordanţă cu cerinţele mediului înconjurător, în continuă schimbare. Se bazează pe capacitatea de a reacţiona eficace într-o anume situaţie şi mediu". Mai este denumită şi : precizie, adresă, abilitate, coordonare etc.

Factorii morfo-funcţionali cei mai importanţi pe care se bazează îndemînarea sînt arcurile şi actele neuro-musculare. Îndemînarea apare ca urmare a dezvoltării la maximum a proceselor de coordonare neuro-musculară, deci a nivelului de funcţionalitate a reflexelor condiţionate catenare.

Îndemînarea ajută, printre altele, la economisirea consumului energetic. Cu cît actele neuro-musculare se desfăşoară mai corect, cu atît necesităţile metabolice vor fi mai scăzute.

SUPLEŢEA (S)

Este calitatea care permite desfăşurarea mişcării cu maximum de amplitudine eficientă şi cu minimum de consum de energie fizică şi nervoasă.

Factorii morfo-funcţionali cei mai importanţi pe care se bazează supleţea sînt pe primul plan : elasticitatea musculară şi amplitudinea articulară de mişcare şi pe plan secund procesele de coordonare neuro-musculare. Elasticitatea ţesuturilor conjunctive este dependentă, la rîndul ei, de atmosfera generală endocrino-vegetativă a organismului. De aceea, copilul este mai suplu decît adultul, fetele mai suple decît băieţii, negrii mai suplii decît albii.

Supleţea precede, ca moment de apariţie în evoluţia ontogenetică, îndemînarea şi de aceea nu pot fi confundate. Sub forma ei primitivă, supleţea se întîlneşte şi la mişcările fătului în timpul vieţii intrauterine, mişcări care se bazează pe reflexe necondiţionate, în timp ce îndemînarea se bazează pe dezvoltarea reflexelor condiţionate catenare. Un trăgător la pistol-viteză poate fi îndemînatic, fără să dispună de o supleţe deosebită, în schimb, un sprinteur negru poate să fie suplu, fără să dispună de o îndemînare deosebită.

FORŢA (F)

Este calitatea care permite desfăşurarea mişcării cu un maximum de cantitate de energie eficientă. Ea schimbă energia de repaus în energie de mişcare şi invers şi modifică intensitatea energiei de mişcare în decursul acesteia. Forţa exprimă mărimea încărcăturii în exerciţiul fizic respectiv şi se măsoară în Kilogramforţă (Kgf).

Forţa se poate manifesta sub trei forme :

1) *forţă de împingere*, cu scurtarea lungimii muşchilor ca la aruncări, haltere etc. ;

2) *forţă de menţinere*, fără modificarea lungimii muşchilor (regim izometric) ;

3) *forţă de cedare*, cu mărirea lungimii muşchilor, ca în faza de predetentă a săriturii.

În cadrul forţei de învingere se deosebeşte aşa-numita „*forţă explosivă*“, care poate fi definită drept capacitatea de a manifesta valori mari de forţă într-o unitate de timp foarte scurtă. Relaţiile dintre forţă şi viteză apar aici evidente. De exemplu, la smulsul unei haltere de 150 kg, care necesită o valoare maximă a forţei de 200 kg, se folosesc numai 4,3 cai putere, în timp ce la aruncarea greutăţii de 7,257 kg la 18,19 m, care necesită o valoare maximă de forţă de numai 61,3 kg, se folosesc 6,9 cai putere (*A. Samosfetov*).

Factorii morfo-funcţionali cei mai importanţi pe care se bazează calitatea forţă sînt : numărul lanţurilor osteo-musculo-articulare care intră în acţiune, lungimea pîrghiilor osoase şi a braţelor de forţă a acestora, secţiunea transversală a maselor musculare, elasticitatea musculară şi frecvenţa impulsurilor nervoase. Vom reveni asupra factorilor la capitolul „Aruncarea“.

Din punct de vedere biochimic, forţa contracţiei musculare depinde de acţiunea reciprocă a ATP-ului cu miozina. Dezvoltarea raţională a forţei contribuie la dezvoltarea şi a celorlalte calităţi şi în special a vitezei prin dezvoltarea bazelor biochimice ale acestora. Dar dezvoltarea excesivă a forţei care atrage o hipertrofie musculară exagerată se face în detrimentul altor calităţi şi în primul rînd a supleţei.

REZISTENŢA (R)

Este calitatea biomotrică ce permite desfăşurarea mişcării un timp cît mai îndelungat. Se consideră efort de rezistenţă sau de durată, efortul fizic cu o durată mai mare de 3 min, care presupune participarea a cel puţin 1/7 din totalul musculaturii scheletice şi angrenarea în proporţie de cel puţin 50% a capacităţii de travaliu a aparatului cardio-vascular.

Rezistenţa este legată pe primul plan de capacitatea de travaliu a aparatului cardio-vascular şi a aparatului respirator.

Menţinerea continuităţii şi intensităţii mişcării se datoreşte în al doilea rînd factorilor biochimici care reglează procesele de homeostazie în condiţiile efortului îndelungat şi în al treilea rînd folosirea la maximum a forţelor exterioare (gravitaţiei, inerţiei etc.), cu scopul economisirii forţelor interioare (impulsuri nervoase, contracţii musculare etc.) care produc mişcarea.

Înainte se considera că tinerii de vîrstă prepubertară și pubertară nu sînt compatibili cu efortul de rezistență, afirmîndu-se că ar exista o discrepanță între creșterea organismului în general și dezvoltarea morfo-funcțională a aparatului cardio-vascular. Cercetările mai recente au demonstrat contrariul, că efortul de rezistență este chiar mai bine suportat de tineri, decît de adulți, dacă intensitatea este convenabilă.

Factorul principal care limitează continuarea unui efort de o anumită intensitate este oboseala.

Formele de manifestare ale rezistenței sînt : *rezistența generală* (capacitatea organismului de a presta eforturi variate, de intensitate moderată, un timp mai îndelungat), ***rezistența în regim maximal de viteză*** (100—600 m), ***rezistența în regim maximal de forță*** (haltere, lupte etc.), ***rezistența la accelerări*** (sărituri de pe trambulină în apă sau cu schiurile, zborul cu avioanele de reacție sau rachete etc.), ***rezistența la altitudine*** etc.

DETENTA (D)

Este calitatea biomotrică ce permite desfășurarea discontinuă a mișcărilor și constă în capacitatea de acumulare în cadrul unui act motor a unei tensiuni mari (*faza lentă pregătitoare*) urmată de o destindere bruscă (*faza de explozie*). În faza lentă pregătitoare segmentele corpului se flectează, adunîndu-se în jurul centrului de greutate al corpului. În faza de explozie, segmentele se destind brusc, îndepărtîndu-se de centrul de greutate.

Factorii morfo-funcționali cei mai importanți pe care se bazează calitatea detentă sînt : lungimea fibrelor musculare ale lanțului triplei extensii a membrelor inferioare, lungimea pîrghiilor osoase și a brațelor de forță ale acestora, elasticitatea musculară și forma bolții plantare (în faza de explozie), precum și capacitatea de relaxare precontracțională (în faza lentă pregătitoare). Vom reveni asupra factorilor la capitolul „Săritura".

Detenta nu poate fi considerată o calitate secundară a vitezei, o simplă variantă a vitezei de explozie, aceasta intrînd în acțiune abia în faza a doua. Prima fază, cea lentă de pregătire, este de o importanță egală cu cea de explozie. La aceasta se adaugă „momentul critic" al trecerii bruște de la o fază la alta. Caracteristica esențială a detentei rămîne deci structura ei discontinuă, din care rezultă însăși eficiența ei particulară. De

aceea, săritorii buni nu dispun de obicei de o viteză remarcabilă, după cum nici sprinterii buni nu dispun de obicei de o detentă spectaculară.

INTERDEPENDENŢA CALITĂŢILOR BIOMOTRICE

Fiecare calitate biomotrică se referă, deci, la aspecte diferite ale acţiunii şi este legată de predominanţa anumitor factori morfo-funcţionali. Travaliul dinamic care rezultă din intrarea în acţiune a tuturor factorilor morfo-funcţionali se manifestă sub forma uneia dintre aceste calităţi, dar ele, ca şi factorii, sînt interdependente şi inseparabile.

Ceea ce se modifică, în diferitele forme de mişcare, este numai ierarhia, în ceea ce priveşte rolul fiecăreia dintre ele. De exemplu, într-o alergare de viteză, ordinea valorilor ar fi : V.D.S.I.F.R. ; într-o alergare de fond ar putea fi : R.F.V.D.I.S. ; într-o aruncare această ordine ar fi : F.V.D.S.I.R. ; iar într-un tuşeu la scrimă : I.V.D.S.R.F.

În ultimă instanţă, interdependenţa calităţilor biomotrice nu reflectă decît interdependenţa factorilor morfo-funcţionali, care şi ea, la rîndul ei, rezultă în primul rînd din dirijarea mecanismelor lor funcţionale de către sistemul nervos central, care conduce atît coordonarea motrică propriu-zisă, cît şi coordonarea endocrino-vegetativă necesară realizării mişcărilor.

Importanţa interdependenţei factorilor morfo-funcţionali se constată, de asemenea, în mod evident şi dacă ţinem seama de rolul compensator al factorilor. De exemplu, în viteza de alergare, o frecvenţă mărită poate compensa un fuleu mic, şi invers. În forţa de aruncare, lipsa unor pîrghii osoase lungi şi a unei mari secţiuni transversale musculare poate fi compensată de o viteză de explozie mărită şi invers. Săritorul va putea realiza o bună performanţă, fie printr-o pîrghie plantară mai favorabilă şi o lungime mai mare a fibrelor musculare, fie printr-o viteză de detentă mai mare, şi invers. Şi lanţul exemplelor poate deveni nesfîrşit.

Dar, interdependenţa factorilor morfo-funcţionali se poate recunoaşte uşor şi dacă ne gîndim la structura fiecărui exerciţiu în parte : săritura este în fond o aruncare a propriului corp de pe sol, aruncarea este în bună măsură o săritură, iar alergarea constă dintr-o serie de sărituri.

Aceste fapte nu fac decît să oglindească şi mai limpede necesitatea de a privi organismul în mişcare ca un tot, ca un

întreg, în care, indiferent de forma mişcării, participă toţi factorii morfo-funcţionali.

Organismul omenesc în mişcare este ca o orchestră alcătuită din instrumente — factorii, dirijorul acestei impresionante orchestre fiind sistemul nervos central, iar forma ei de manifestare — calităţile biomotrice. Chiar dacă la un moment dat un grup de factori pot fi preponderenţi, permanent toţi ceilalţi continuă să-i susţină, pentru ca mişcarea să poată deveni într-adevăr o mişcare „armonică".

Cunoscînd aceste lucruri, ne va fi mai uşor să înţelegem însemnătatea pregătirii multilaterale. Prin pregătirea multilaterală, fiecare factor ajunge să dispună, dacă ne putem exprima astfel, de un grad oarecare de dexteritate generalizată atît prin dezvoltarea lui individuală, cît şi prin dezvoltarea simultană a unor relaţii armonice cu ceilalţi factori. Pregătirea multilaterală întăreşte factorul morfo-funcţional atît pe dinăuntru, cît şi pe dinafară, interdependent. În fond, deci, nu un factor se dezvoltă, ci întregul organism se transformă, pregătindu-se pentru realizarea corectă a exerciţiilor fizice.

PLANUL GENERAL PENTRU ANALIZA ANATOMO-BIOMECANICĂ A EXERCIŢIILOR FIZICE

Studiul anatomo-biomecanic al exerciţiilor fizice presupune o cunoaştere aprofundată a noţiunilor prezentate în capitolele anterioare. Exerciţiul fizic, ca deprindere motrică complexă, reprezintă o înlănţuire de poziţii şi de acţiuni, care presupun participarea întregului organism şi în cadrul acestora cu preponderenţă şi caracteristic fiecărei faze şi acţiuni, participarea pe primul plan al unui anumit grup de factori. Studiile anatomo-biomecanice urmăresc să scoată în evidenţă tocmai aceste grupe caracteristice de factori, scopul lor practic fiind acela de a oferi o bază ştiinţifică de alcătuire a programelor metodologice de antrenament, indiferent dacă acestea au un caracter sportiv, profesional sau recuperator.

Planul general după care recomandăm să se facă studiile anatomo-biomecanice ale exerciţiilor fizice este următorul:

1. *Încadrarea anatomo-biomecanică.*
2. *Scurt istoric.*
3. *Traiectoria centrului de greutate şi forţele exterioare ce trebuie învinse.*
4. *Fazele exerciţiului.*

5. *Chinemograma.*
6. *Concluziile metodologice.*

Încadrarea anatomo-biomecanică. În acest capitol cu caracter introductiv se va face prezentarea generală a exercițiului respectiv și se vor prezenta considerentele generale necesare pentru definirea exercițiului în termeni anatomo-biomecanici generali.

Ca un subcapitol se pot insera ramurile de sport în care se întîlnește exercițiul respectiv.

Scurt istoric. Se vor trece în revistă toate preocupările sau lucrările anterioare ale diverșilor autori care au abordat studiul anatomo-biomecanic al exercițiului respectiv.

Traiectoria centrului de greutate și forțele exterioare ce trebuie învinse. În decursul exercițiilor fizice, centrul de greutate principal al corpului se deplasează pe o anumită traiectorie, iar corpul în mișcare învinge o serie de forțe exterioare (rezistența solului, rezistența aerului, inerția, frecarea, diverse materiale sportive etc.).

Fazele exercițiului. Se vor descrie fazele exercițiului respectiv în succesiunea lor. Apoi, în cadrul fiecărei faze se vor descrie :

a) Baza de susținere.
b) Poziția centrului de greutate.
c) Unghiul de stabilitate și menținerea echilibrului.
d) Lanțurile osteo-articulare principale.
e) Lanțurile musculare principale în travaliu dinamic.
f) Pîrghiile osteo-articulare principale.
g) Aspectele biomecanice speciale.
h) Ierarhia calităților biomotrice.

Chinemograma. Exercițiul fizic poate fi înregistrat cu ajutorul fotografiilor succesive. Pentru efectuarea unei chinemograme, subiectul este îmbrăcat de exemplu în negru, punctîndu-se în alb sau cu semnale luminoase axele biomecanice ale articulațiilor mai importante. Interpretarea datelor are o mare importanță pentru îmbunătățirea metodologiei de antrenament.

Concluzii metodologice. Se vor trage concluziile practice care pot fi folosite pentru îmbunătățirea metodologiei de antrenament.

Planul de studiu mai sus prezentat are un caracter pur orientativ. El poate fi modificat de la caz la caz, important în expunerea studiului anatomo-biomecanic fiind nu respectarea punctelor de plan, ci prinderea elementelor caracteristice ale mişcării respective.

În capitolele care urmează se va face prezentarea, în general, a unor deprinderi motorii complexe.

MERSUL

Mersul este deprinderea motrică prin care se realizează în mod obişnuit locomoţia corpului omenesc. Mecanismul principal pe care se bazează mersul este mişcarea alternativă şi constantă a celor două membre inferioare, care îşi asumă pe rînd funcţia de suport şi funcţia de propulsor. Acest mecanism a fost denumit de *Steindler* „alternating bipedalism", iar de *Oliver Holmes* „o cădere continuă cu ridicare proprie continuă (selfrecovery)".

Ca exerciţiu fizic este folosit în lecţia de gimnastică de bază, în atletism (sub forma modificată a marşului sportiv), în turism, la golf, la vînătoare etc.

SCURT ISTORIC AL STUDIULUI MERSULUI

În decursul anilor, studiul mersului a fost abordat de un mare număr de cercetători din cele mai diferite specialităţi. Cum recunoaşte şi *Grossiord*, mersul este un act atît de obişnuit, încît trebuie admiraţi fără rezervă în primul rînd cei care şi-au pus pentru prima dată problema acestui minunat mecanism care ne permite să ne deplasăm cu atîta siguranţă, eficacitate şi armonie.

Nu putem preciza care au fost aceştia, dar nici nu putem trece cu vederea descrierile care ne-au rămas în acest sens de la celebrul artist florentin *Leonardo da Vinci*, în acelaşi timp arhitect, inginer şi fizician. „Mersul omului, scrie *da Vinci*, are caracteristica generală a patrupedelor, care îşi mişcă membrele în cruce. Omul, cînd merge, îşi mişcă cele patru membre ca şi calul, în cruce : păşeşte întîi cu dreptul şi întinde în acelaşi timp înainte mîna stîngă sau invers". Filozoful şi fizicianul *Descartes*, care a trăit în prima jumătate a secolului al XVII-lea, ne-a lăsat de asemenea unele texte referitoare la mersul omului, care dovedesc un remarcabil spirit de observaţie. Revine însă probabil lui *Borelli* (1682) meritul de a fi determinat poziţia centrului de greutate al corpului şi de a fi încercat să

32 — Anatomia funcţională şi biomecanica aparatului locomotor — cd. 271

identifice care este rolul diverselor grupe musculare în mers. Fraţii *Weber* (1856) şi *Duchenne de Boulogne* (1867), bazîndu-se tot pe observaţia vizuală, au continuat studiul mersului, lăsînd cîteva studii remarcabile. *Marey* singur (1872), iar mai apoi cu *Demeny* şi *Carlet* (1873, 1887, 1891) au introdus în studiul mersului controlul presiunilor pe sol şi cronofotografia. *Braune* şi *Fischer* (1895) analizează matematic mersul, calculînd vitezele şi acceleraţiile diferitelor segmente, ca şi fluctuaţiile presiunilor pe sol, ajungînd astfel să deosebească în timpul unui pas dublu 31 de faze distincte. *Scherb* studiază, întîi palpatoriu, apoi cu ajutorul electromiografiilor, acţiunea diverselor grupe musculare în mers.

Mersul bolnavilor suferinzi de diverse afecţiuni a preocupat printre alţii pe *Gh. Marinescu* (1910), *Kozyrev* (1937), *Joel Harrley* (1943), *Pol le Coeur* (1948), *Grossiord* (1956), *Al. Rădulescu* şi *Baciu* (1956), *Ducroquet* (1965) etc.

EVOLUŢIA ONTOGENETICĂ A MERSULUI

Excitaţiile externe (prezenţa părinţilor, sunetele, culorile, mişcarea, exemplul celor din jur etc.) fac ca, treptat, copilul să înceapă să se tîrască, să meargă de-a buşilea, să se ridice în picioare şi să facă primii paşi. În primii ani, copilul merge cu o bază mare de susţinere şi se leagănă pentru a-şi menţine echilibrul, imitînd mersul antropoidelor. Abia către vîrsta de 3—5 ani mersul copilului începe să semene cu cel al adultului. Astfel, copilul începe să-şi formeze reflexele condiţionate necesare mersului, reflexele catenare, în care sfîrşitul unui reflex constituie excitantul reflexului următor, necesar continuării mersului. Toată această evoluţie confirmă principiul că evoluţia ontogenetică a locomoţiei repetă evoluţia filogenetică a locomoţiei.

Posibilităţile copilului de a se susţine şi merge au permis lui *Tardieu* şi *Monfrais* (1956) să stabilească un tabel al etapelor funcţionale ale deprinderii mersului :

48 săptămîni	Copilul apucat de amîndouă mîinile se ţine în echilibru şi avansează fără a fi tras înainte
52 săptămîni	Copilul merge dacă este ţinut de o mînă
15 luni	Copilul face cîţiva paşi singur, porneşte şi se opreşte fără ajutor
18 luni	Nu mai cade decît rar
5—7 ani	Mersul normal

Evoluția filogenetică a dus la dezvoltarea unei astfel de forme arhitecturale a corpului omenesc, încît acesta să poată acționa cu o remarcabilă conservare de energie și în același timp să respecte cele două mari cerințe ale mersului : stabilitatea și mobilitatea. Stabilitatea este esențială deoarece balansarea și echilibrul trebuie susținute în timpul accelerării, deaccelerării și oscilațiilor care se produc cu fiecare pas. Mobilitatea, care rezultă din coordonarea activităților musculare, a gravitației și a inerției sistemelor de pîrghii, este indispensabilă dirijării diferitelor segmente ale corpului pe traiectoria de progresiune.

TRAIECTORIA CENTRULUI DE GREUTATE ȘI FORȚELE EXTERNE

Mersul, ca orice deprindere motrică, se bazează pe acțiuni biomecanice. În deplasare, corpul omenesc, considerat un mobil, este supus acțiunii următoarelor forțe care acționează asupra centrului de greutate (C) : gravitatea (G), care-l trage în jos și rezistența aerului (A), care i se opune din față (fig. 242). Aceste două forțe, după principiul paralelogramului forțelor, dau rezultanta R, care trebuie învinsă de forța F. Pentru a fi posibilă deplasarea, forța F trebuie să depășească cu puțin în valoare rezultanta R.

Mersul este, deci, inițiat și controlat din punct de vedere mecanic de o serie de forțe externe, cum ar fi gravitatea și rezistența aerului, care se aplică asupra centrului de greutate sub forma rezultantei R. Valoarea acestei rezultante este însă strîns legată și de alți factori dependenți de rezistența și aderența solului. Toate aceste forțe trebuie învinse de forțele interne ale corpului, forțe reprezentate de grupele musculare care intră în acțiune prin intermediul sistemului de pîrghii osteo-articulare. Mișcarea odată

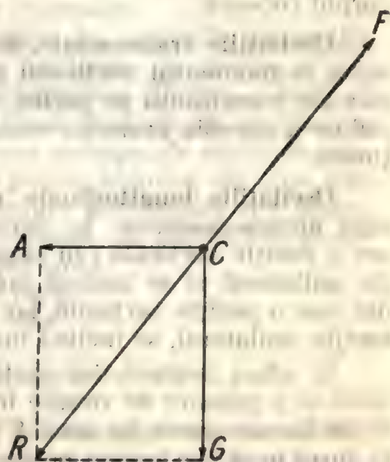


Fig. 242 — Forțele care acționează asupra centrului de greutate în mers.

pornită, forței musculare i se adaugă inerția și viteza de propulsie, factori pur mecanici, care pot suplini pînă la un punct chiar forța musculară și la care se poate apela în programul de reeducare a mersului la bolnavii care prezintă o forță musculară deficitară. Odată cîștigată, viteza de propulsie este și un factor de echilibru, care acționează ca o componentă utilă diminuării amplitudinilor deplasărilor laterale.

În mersul normal, drept înainte, individul se deplasează pe o linie de progresie imaginară. Această linie este considerată distanța cea mai scurtă între două puncte prin care a trecut individul și este în relație cu planul sagital al corpului. Marginea internă a plantelor cade pe această linie, obținîndu-se astfel cea mai mare economie de energie musculară și cea mai bună stabilitate.

În timpul mersului corpul execută în plus o serie de oscilații în sens vertical, transversal și longitudinal, oscilații care complică adevărata traiectorie pe care o parcurge centrul de greutate.

Oscilațiile verticale, în medie de 4,5 cm (după *Saunders)* sau 4—6 cm (după *Demeny)* au maximele în momentul verticalei și minimele în perioadele de sprijin bilateral. Deci, în timp ce membrul pendulant execută faza posterioară, corpul se ridică, iar în timp ce membrul pendulant execută pasul anterior, corpul coboară.

Oscilațiile transversale, de 4,4 cm (după *Saunders),* au maxima în momentul verticalei și corespund înclinărilor alternative ale trunchiului pe partea membrului de sprijin. Ele au scopul de a apropia proiecția centrului de greutate de baza de susținere.

Oscilațiile longitudinale redau înclinările trunchiului în sens antero-posterior. În perioada de sprijin bilateral corpul are o poziție verticală ; în faza posterioară a perioadei de sprijin unilateral el se înclină înapoi ; în momentul verticalei are din nou o poziție verticală, iar în faza anterioară a perioadei de sprijin unilateral, se înclină înainte.

În afara deplasărilor verticale și tranversale, bazinul prezintă și o mișcare de rotație în jurul unei axe verticale de cîte 4° de fiecare parte (în total 8°), precum și o mișcare de rotație în jurul unei axe antero-posterioare, de cîte 5° (după *Saunders).*

Traiectoria centrului de greutate nu este rectilinie, ci sinuoasă. Corpul omenesc în mers nu se înfige în spațiu, ci se înșurubează în el.

FAZELE MERSULUI

Ca în orice mişcare pe care o execută corpul omenesc, primul impuls porneşte din apropierea centrului de greutate. Trunchiul se apleacă înainte pentru ca proiecţia centrului de greutate să treacă înaintea bazei de susţinere ; aproape concomitent, membrul inferior de sprijin se extinde şi corpul este proiectat înainte şi puţin în sus ; tot concomitent, celălalt membru inferior, care devine pendulant, părăseşte solul şi este proiectat înaintatea membrului de sprijin şi fixat din nou pe sol. Lucrurile se repetă apoi cu membrele inversate.

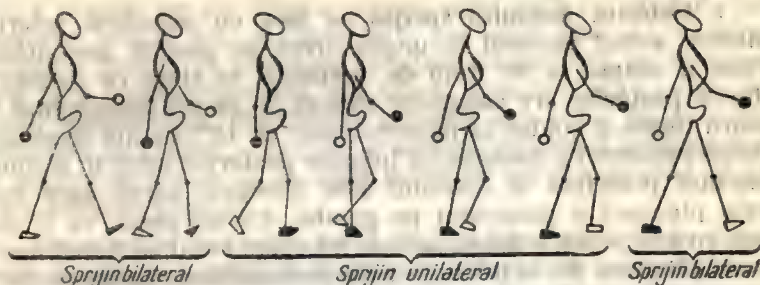


Fig. 243 — Fazele mersului.

Mersul se compune dintr-o serie de perioade de sprijin unilateral, separate între ele prin perioade de sprijin dublu (fig. 243). „Pasul" a fost diferit interpretat. Pentru *Littré*, el ar corespunde intervalului dintre două perioade de sprijin, iar pentru *Marey* — unui pas dublu, care corespunde seriei de mişcări care se succed între cele două poziţii identice ale unui singur picior. Această ultimă interpretare este astăzi cea acceptată, recunoscîndu-se în cadrul unui pas, de către diverşi autori, următoarele momente mai importante.

Ducroquet împarte pasul în 4 timpi :

1. *Dublul sprijin posterior de elan.*
2. *Perioada oscilantă.*
3. *Dublul sprijin anterior de recepţie.*
4. *Sprijinul unilateral.*

După *Grossiord* şi alţi autori mai recenţi, care au studiat mersul cu ajutorul înregistrărilor cinematografice de mare viteză (100 de imagini pe secundă), pasul se împarte în următorii timpi :

1. *Debutul dublului sprijin.*

2. *Dublul sprijin.*
3. *Sprijinul unilateral cu :*
   a) semipasul posterior,
   b) momentul verticalei.
   c) semipasul anterior.
4. *Debutul dublului sprijin ulterior etc.*

1. **Debutul dublului sprijin** se face cu membrul inferior anterior, avînd piciorul la unghi drept pe gambă, genunchiul extins şi coapsa la 30° faţă de verticală, în timp ce membrul inferior posterior are calcaneul ridicat de pe sol, genunchiul în uşoară flexie şi şoldul în hiperextensie de 15°. Lanţul muscular al triplei extensii a membrului inferior posterior intră în acţiune. Muşchiul principal al elanului este tricepsul sural, care face flexia plantară a piciorului pe gambă. Cu cît pasul va fi mai lung, cu atît puterea dezvoltată de tricepsul sural va fi mai mare. Flexia plantară din articulaţia tibio-astragaliană ajunge la aproximativ 30° şi se însoţeşte şi de flexia degetelor. În acelaşi timp, marele fesier extinde şoldul, dar cvadricepsul frînează flectarea excesivă a coapsei pe gambă.

Propulsia din membrul inferior posterior se însoţeşte şi de o serie de înclinări laterale. Înainte de ridicarea călcîiului de pe sol, tibia se înclină medial şi astfel se produce din articulaţia astragalo-calcaneană o înclinaţie în varus a piciorului. Apoi, după ce călcîiul se desprinde de sol, se produce o înclinare inversă, de deviere în valgus a piciorului, de această dată însă cu punct principal de producere din articulaţia medio-tarsiană.

2. **Dublul sprijin** ocupă 1/6 după *Marey*, 1/4—1/8 după *Demeny*, sau mai puţin de 1/4 după *Grossiord* din durata unui semipas. În timpul lui, membrul inferior anterior îşi aşază piciorul pe sol, gamba face un unghi de 10° cu verticala, apoi se verticalizează, genunchiul se flectează uşor, apoi se extinde şi şoldul îşi reduce lent flexia. În acelaşi timp, la membrul inferior posterior de la 15° flexie dorsală piciorul trece la unghi drept şi ajunge la o flexie plantară de 30° cu primele falange în hiperextensie ; genunchiul se flectează pînă la 50°, hiperextensia şoldului descreşte şi piciorul părăseşte solul.

3. **Sprijinul unilateral** urmează perioadei de sprijin dublu. Membrul părăseşte solul şi devine pendulant (semipasul posterior), trece pe lîngă membrul de sprijin dirijat la verticală,

realizînd astfel momentul verticalei (articulația gleznei se găsește în dreptul proiecției centrului de greutate) și devine anterior (semipasul anterior).

În perioada de sprijin unilateral, membrul de sprijin este blocat cu șoldul și genunchiul în hiperextensie datorită mușchilor fesieri, ischio-gambieri și cvadricepsului, care alcătuiesc un puternic manșon în jurul acestor articulații, în timp ce tricepsul sural și gambierul anterior controlează mișcarea de rulare a plantei pe sol. Planta atinge solul întîi cu călcîiul, care absoarbe primul șoc al contactului cu solul, apoi cu marginea externă ; pentru ca întreaga greutate a corpului să se transmită prin bolta anterioară, din afară înăuntru, spre capul primului metatarsian. Gambierul anterior are rolul de a susține greutatea piciorului — la care se adaugă greutatea încălțămintei — pentru ca acesta să nu cadă brusc pe sol atunci cînd planta atacă solul cu călcîiul.

Peronierilor le revine rolul de a redresa piciorul în valgus după ce acesta a rulat pe marginea externă în ușor varus, iar tricepsului sural, extensorului comun al degetelor, extensorului propriu al halucelui și peronierilor — acela de a face extensia piciorului, astfel încît la începutul perioadei următoare de sprijin bilateral doar halucele să mai păstreze contactul cu solul.

În timp ce faza posterioară a perioadei de sprijin unilateral este o fază exclusiv de sprijin, faza anterioară, care urmează după momentul verticalei, este o fază atît de sprijin, cît și de propulsie a corpului înainte și în sus. Propulsia se realizează prin extensia șoldului, a genunchiului și a piciorului, deci prin intrarea în acțiune a lanțului triplei extensii. Cunoașterea acestui mecanism explică de ce la bolnavii cu paralizii — la care sprijinul se realizează prin blocarea pasivă a șoldului și a genunchiului în hiperextensie — propulsia este foarte greu de realizat deoarece hiperextensia necesară acesteia a fost utilizată pentru sprijin.

Extensia labei piciorului pe gambă se realizează într-o primă fază pe principiul unei pîrghii de gradul II (FRS) : sprijinul (S) la degete, rezistenta (R) la articulația tibio-tarsiană și forța (F) la nivelul inserției tendonului ahilian pe calcaneu (fig. 244). Într-o fază următoare, echilibrul corpului fiind ridicat pe vîrful piciorului, proiecția centrului de greutate (R) se deplasează înaintea sprijinului (S) și mișcarea continuă pe principiul unei pîrghii de gradul I (RSF).

Concomitent cu toate aceste acţiuni pe care le suferă membrul inferior de sprijin, membrul inferior pendulat prezintă şi el o serie de acţiuni importante. Imediat înainte de a deveni pendulant (la sfîrşitul perioadei de sprijin dublu), el se extinde din şold şi se flectează din genunchi datorită acţiu-

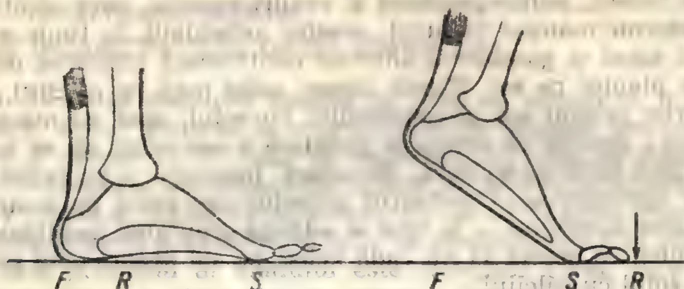


Fig. 244 — În mers, în prima fază, piciorul se comportă ca o pîrghie de gradul II (FRS), iar în a doua fază, ca o pîrghie de gradul I (FSR).

nii ischio-gambierilor. Chiar în momentul în care halucele pierde contactul cu solul, flexia genunchiului, care atinge în acest moment aproximativ 60°, este frînată de contracţia cvadricepsului. În mod normal în această poziţie întregul membru poate pendula înainte, fără a atinge solul, prin uşoara flexie a coapsei pe bazin.

După ce trece de momentul verticalei, gamba se extinde şi continuă să penduleze înainte nu atît prin acţiunea musculară, cît prin inerţie. Muşchii ischio-gambieri intervin să blocheze această extensie atunci cînd gamba a ajuns în poziţie optimă pentru a ataca solul. În acest moment călcîiul atacă solul şi se intră în perioada de sprijin bilateral, care se realizează cînd laba piciorului posterior a rulat şi se sprijină numai prin antepicior, iar călcîiul piciorului anterior ia contact cu solul. Treptat, în timp ce ambele picioare rulează, greutatea corpului se transmite de pe piciorul posterior pe cel anterior şi în cele din urmă halucele piciorului posterior părăseşte solul. Flexia halucelui pe picior se face după principiul pîrghiilor de gradul III (fig. 245), muşchiul motor fiind flexorul halucelui.

În această fază, membrul anterior se pregăteşte pentru blocajul necesar în perioada de sprijin unilateral, care se produce

după mecanismul descris, iar membrul posterior se pregătește pentru a deveni membru pendulant prin contracția ischio-gambierilor.

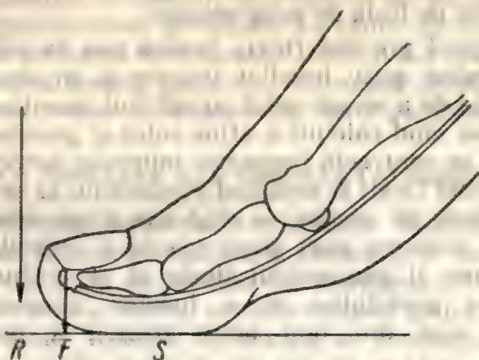


Fig. 245 — Halucele acționează ca o pîrghie de gradul III.

MUȘCHII MOTORI AI MERSULUI

Acțiunea marilor grupe musculare în timpul mersului este însă mult mai complexă decît a fost prezentată.

Fesierul mare intervine foarte puțin sau deloc, cu excepția cazurilor în care omul merge pe un teren alunecos, poartă greutăți sau urcă o pantă. În aceste situații mușchiul începe, luîndu-și punct fix proximal, să se contracte izometric înainte de a atinge solul cu călcîiul și aceasta face ca flexia șoldului să se micșoreze treptat, pînă în momentul în care genunchiul ajunge în extensie maximă. Fesierul mare se contractă puternic pentru a extinde coapsa și se relaxează cînd se intră în faza de sprijin dublu și de pendulare.

Abductorii șoldului (fesierul mijlociu în special) mențin bazinul la orizontală în momentele în care sprijinul pe membrul opus este slab sau lipsește. Ei intră în joc la sfîrșitul fazei de pendulare, imediat înainte de a atinge solul cu călcîiul, și se contractă cu atît mai puternic, cu cît membrul de sprijin se încarcă cu greutatea corpului, iar celălalt se descarcă. Cînd membrul pendulant a trecut înainte, contracția lui slăbește și încetează complet cînd începe noua fază de sprijin dublu.

Adductorii șoldului mențin membrul pendulant pe linia de mijloc, nepermițînd abducția lui. Imediat înainte și în timp ce membrul a devenit membru de sprijin, ei servesc la stabilizarea șoldului, iar la sfîrșitul fazei de sprijin se contractă pentru a menține corpul pe linia de progresiune.

Cvadricepsul previne flexia bruscă sau excesivă a genunchiului și devine activ imediat înainte și în timpul fazei de sprijin. Înainte de a atinge solul cu călcîiul, menține genunchiul în extensie, iar cînd călcîiul a atins solul și genunchiul se flectează ușor, el se contractă izometric puternic, activînd ca un regulator al acestei flexii și nelăsînd genunchiul să se prăbușească. La sfîrșitul fazei de sprijin — cînd axa transversală a genunchiului trece înaintea axei transversale a articulațiilor metatarso-falangiene și genunchiul tinde să se prăbușească brusc sub influența gravitației și a inerției coapsei înainte — cvadricepsul este din nou activ pentru a preveni flexia bruscă.

Mușchii posteriori ai coapsei (ischio-gambierii) se contractă în ultima parte a fazei de pendulare, extinzînd genunchiul înainte de a atinge solul cu călcîiul. Imediat după ce călcîiul a atins solul, ei ajută la stabilizarea genunchiului și, atunci cînd e cazul, la întărirea acțiunii fesierului mare (de extensie a șoldului). Cînd mersul este rapid și se fac pași mari, ei iau parte, de asemenea, ajutînd la flexia genunchiului în timpul ultimei părți a fazei de sprijin și al primei părți a fazei de pendulare.

Tricepsul sural stabilizează piciorul pentru a nu se flexa dorsal în timpul perioadei de sprijin. El intră în acțiune cînd planta s-a așezat pe sol. Cînd planta începe să ruleze înainte, acțiunea devine mai puternică și atinge maximum cînd călcîiul este ridicat de pe sol. Cînd greutatea corpului s-a deplasat înainte și flexia genunchiului s-a efectuat, puterea de contracție descrește, pentru a dispare complet cînd piciorul a părăsit solul.

Grupul tibial anterior (gambierul anterior, extensorul propriu și extensorul comun) este activ, dar cu intensități diferite în tot timpul mersului. Cînd călcîiul atinge solul este puternic contractat și această contracție atinge maximum cînd planta se așază pe sol, prevenind căderea bruscă a piciorului. În restul fazei de sprijin stabilizează glezna. Cînd piciorul părăsește solul, grupul tibial anterior este în ușoară contracție pentru a permite piciorului pendulant să treacă deasupra solului. În partea finală

a pendulării, contracția se mărește din nou pentru a se menține piciorul pendulant la unghiul necesar sub care va ataca solul.

Mușchii peronieri sînt stabilizatorii laterali ai piciorului și gleznei. Ei sînt activi în faza de sprijin, activitatea lor maximă fiind atinsă imediat ce călcîiul este ridicat de pe sol. Ei duc piciorul în valgus, mutînd greutatea corpului pe capul celui de al doilea și al primului metatarsian. Întîi intră în acțiune scurtul peronier, apoi lungul peronier, împreună forțînd piciorul în valgus, acțiune la care se împotrivesc cei 2 gambieri.

MIȘCĂRILE ASOCIATE ALE TRENULUI SUPERIOR

Trenul superior participă și el la mers. Umerii și membrele superioare sînt proiectate înainte și înapoi prin torsiuni ale coloanei, în același ritm cu deplasările membrelor inferioare, dar în sens opus acestora, corpul echilibrîndu-se astfel în jurul centrului de greutate. Rotația vertebrală se efectuează în special la nivelul coloanei lombare și este cu atît mai importantă, cu cît lungimea pasului se mărește. Mișcările de proiecție ale membrelor superioare înainte contribuie, de asemenea, prin inerția ce o imprimă, la realizarea deplasării centrului de greutate înainte. Proiectarea brațului înainte pune în tensiune dorsalul mare, iar rotația trunchiului — fibrele micului oblic abdominal. Inerția creată ajută progresia șoldului înainte, care va fi oprită prin punerea în tensiune a centurii laterale a trunchiului (formată de marele pectoral, marele dințat și marele oblic).

Mișcările sincrone ale trunchiului și extremităților superioare ajută balansarea și ritmul de înaintare prin menținerea centrului de greutate într-o poziție convenabilă.

CHINEMOGRAMA MERSULUI

Grafic, mersul poate fi înregistrat cu ajutorul fotografiilor succesive. Interpretarea datelor pe care ni le furnizează această chinemogramă este de un mare interes pentru studiul mersului (fig. 246).

Traiectoria șoldului (SS′) prezintă două oscilații verticale: una în faza de sprijin și una în faza de pendulare. Curba este joasă cînd cîlcîiul atinge solul, se urcă treptat în timp ce corpul se rotește pe genunchi și apoi pe gleznă, pentru a atinge punctul în care centrul de greutate cade vertical pe șold, genunchi și

gleznă. De la acest punct, curba scade treptat. Arcul de cerc cu centrul la nivelul articulației gleznei se datorește faptului că șoldul se menține în extensie, iar genunchiul și glezna sînt fixate de tendonul ahilian ; în felul acesta centrul de rotație se mută de la gleznă înainte spre articulațiile metatarso-falangiene. Această schimbare a centrului de greutate are și scopul de a

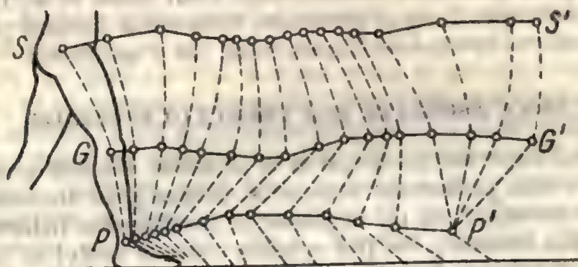


Fig. 246 — Chinemograma mersului normal : SS' — traiectoria axei transversale a șoldului, GG' — traiectoria axei transversale a genunchiului, PP' — traiectoria axei transversale a gleznei.

lungi extremitatea și se menține pînă cînd călcîiul membrului opus atinge solul, începîndu-se astfel faza de sprijin dublu. Cînd începe faza de pendulare, curba șoldului se ridică din nou treptat, corpul fiind ridicat de membrul opus, de această dată arcul de cerc fiind mai lin.

Să urmărim *traiectoria genunchiului* (GG'). Cînd călcîiul atinge solul, genunchiul este în extensie. Curba coboară ușor din momentul în care piciorul se pregătește să părăsească solul. Genunchiul trece în flexie, gamba se rotește ușor în afară și piciorul se extinde puțin, ceea ce atrage o urcare a curbei. Cînd piciorul se așază pe sol, traiectoria continuă să urce lent, genunchiul fiind acum flectat la 15° față de perpendiculară. Din acest punct traiectoria începe să coboare, dar mai neregulat decît la urcare, deoarece centrul de rotație s-a mutat pe articulațiile metatarso-falangiene, glezna fiind fixată de tendonul ahilian. Astfel se efectuează și alungirea relativă a membrului. Cînd piciorul părăsește solul pentru a intra în faza de pendulare, începe flexia coapsei și curba merge repede în sus, pentru a atinge maximumul sau cînd coapsa este în flexie totală, iar genunchiul în flexie de 40°. Curba cade apoi brusc cînd ge-

nunchiul este întins, călcîiul atinge solul și începe faza de dublu sprijin. Această cădere este rezultatul trecerii întregii greutăți corporale asupra membrului inferior.

Traiectoria articulației gleznei (PP') este puțin mai complicată. Ea merge înainte și în jos cînd călcîiul atinge solul și piciorul se așază pe sol, dar rămîne la acest nivel deoarece extremitatea se rotește deasupra gleznei și centrul de rotație se mută înainte pe articulațiile metatarso-falangiene. Cînd această deplasare s-a realizat și piciorul părăsește solul, curba se ridică rapid, pentru a coborî apoi după ce genunchiul a atins maximumul eficient de flexie și coapsa a început să se flecteze. Din acest punct, curba coboară cu atît mai mult, cu cît genunchiul se extinde ; coboară lin pînă cînd este atinsă extensia maximă, apoi coboară brusc pînă cînd călcîiul atinge solul.

CONDIȚIILE MINIME PENTRU MERS

Mersul este posibil și în condiții patologice legate de anumite deficiențe musculare. În aceste cazuri, mecanismele de deplasare se modifică atît segmentar, cît și în totalitate, și întregul sistem biomecanic al locomoției se adaptează pentru a fi posibilă deplasarea cu ajutorul forțelor musculare restante și prin punerea în joc a mecanismelor de stabilizare pasivă (fig. 247).

Fiind complexă, locomoția umană găsește aproape totdeauna posibilitățile cele mai economice de adaptare la situațiile cele mai dificile. La aceasta contribuie faptul că mersul pretinde o utilizare minimă de forță și odată mișcarea începută, continuitatea ei intră sub dependența forțelor externe, în special a inerției. Înaintările succesive ale membrelor inferioare pot ajunge astfel să acționeze ca două pendule care lucrează în contratimp.

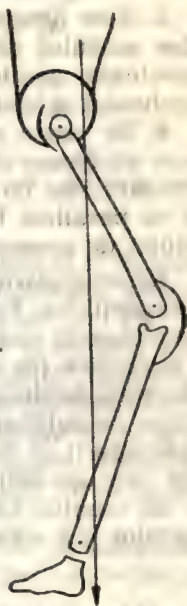


Fig. 247 — Mecanismul de stabilizare pasivă a membrului inferior în mers, prin punerea sub tensiune a ligamentului lui *Bertin-Bigelow*, a capsulei și ligamentelor posterioare ale genunchiului.

Totuşi, posibilităţile de mers ale bolnavilor cu deficienţe musculare rămîn legate de o serie de condiţii minime din partea grupelor musculare. Aceste condiţii pot fi sumar redate în felul următor:

1. Se poate merge fără sprijin pe baston sau cîrje, cu o paralizie totală a unui membru inferior (cu excepţia marelui fesier sau a psoasului care trebuie să fie cel puţin parţial funcţionali), cu condiţia de a avea celălalt membru sănătos sau suferind numai de o paralizie de cvadriceps şi de gambier anterior.

2. Este necesar un baston atunci cînd baza de susţinere se reduce la o linie prin paralizia celor 2 mari fesieri, prin paralizia bicepşilor femurali sau prin paralizia marelui fesier de o parte ori a tricepsului sural de cealaltă parte.

3. Este nevoie de două bastoane în cazul paraliziei muşchilor şoldului de ambele părţi. În această situaţie, bolnavul proiectează gambele înainte printr-o mişcare de torsiune a trunchiului şi trebuie să ia sprijn alternativ pe fiecare baston.

4. Se poate merge cu două cîrje, avînd membrele superioare sănătoase chiar în cazul unei paralizii totale a membrelor inferioare, dar cu o conservare relativă a muşchilor abdominali sau cu paralizia flancului de o parte şi conservarea muşchilor şoldului de aceeaşi parte.

Recomandarea bastonului sau cîrjelor este legată însă şi de capacitatea funcţională a membrelor superioare. Bastoane se recomandă numai bolnavilor care au o musculatură suficient de puternică (în special flexorii degetelor, tricepsul brahial şi adductorii braţului). Cîrjele canadiene se pot recomanda bolnavilor cu deficienţe mai mari, cu condiţia ca tricepsul brahial şi adductorii să fie buni. Cîrjele cu sprijin axilar se recomandă celor care au deficienţe şi mai mari ale membrelor superioare, dar îşi menţin totuşi un grad oarecare de mişcare la flexorii degetelor şi a adductorilor braţului.

ALERGAREA

Ajutînd la deplasarea mai rapidă a corpului omenesc, alergarea constă în trecerea succesivă a unui membru inferior înaintea celuilalt, sprijinul efectuîndu-se însă numai pe cîte un picior. Spre deosebire de mers, alergarea nu prezintă perioade de sprijin dublu, înaintarea făcîndu-se prin mici sărituri, separate prin perioade de sprijin unilateral.

Ca exercițiu fizic, alergarea este folosită în gimnastica de bază, în atletism (sprint, sprint prelungit, semifond, fond, mare fond) și în toate jocurile cu mingea (oină, fotbal, rugbi, baschet, handbal etc.).

Ca în orice deplasare a corpului omenesc, centrul de greutate suferă în timpul alergării o deplasare (fig. 248) în reali-

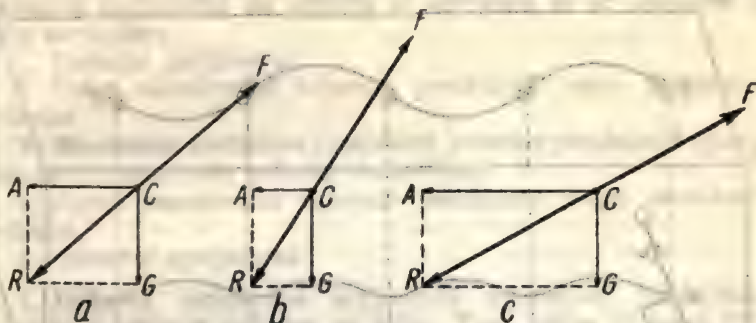


Fig. 248 — **Acțiunea forțelor asupra centrului de greutate în alergare.**

zarea căreia intervin aceleași trei forțe principale ca și la mers: 1) forța musculară (F), la care se adaugă rezistența podelei; 2) forța greutății corporale (G) și 3) rezistența aerului (A).

Deplasarea centrului de greutate respectă principiul paralelogramului forțelor. Dacă viteza este constantă, aceste trei forțe se mențin în echilibru (fig. 248 a). Forța greutății corporale (CG) acționează în jos, iar rezistența aerului (CA) acționează orizontal, în sens opus direcției de alergare. Rezultanta lor (CR) indică direcția și valoarea ce se pretind forței musculare (CF) pentru a realiza deplasarea.

Dacă viteza scade și rezistența aerului (CA) se micșorează (fig. 248 b) forța musculară (CF) va acționa pe o direcție mai puțin înclinată și va avea o valoare mai mică.

Dacă viteza de deplasare crește, rezistența aerului (CA) crește și ea (fig. 248 c), ceea ce atrage o mărire a valorilor rezultantei (CR). Forța musculară (CF) va trebui să acționeze pe o direcție mai înclinată și va avea o valoare mai mare.

Centrul de greutate nu se deplasează rectiliniu, ci sinusoidal (fig. 249). În momentul în care membrul inferior posterior se extinde, forța musculară deplasează centrul de greutate în sus și înainte. Cînd acțiunea forței musculare se epuizează,

centrul de greutate, datorită inerţiei de mişcare, îşi continuă deplasarea înainte, dar coboară. În prima fază a momentului de sprijin pe membrul inferior anterior el continuă să coboare, apoi odată cu extensia membrului anterior (care devine posterior şi deci propulsor) centrul de greutate începe iar să se ridice (fig. 249 AA').

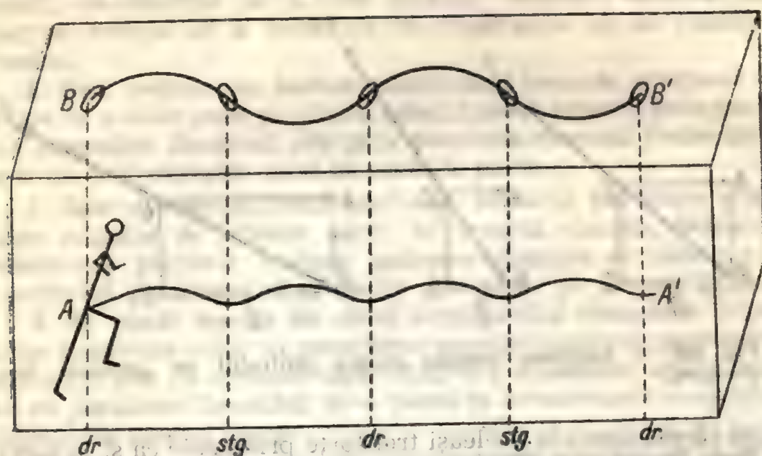


Fig. 249 — Deplasarea centrului de greutate în alergare.

În afara acestor deplasări verticale centrul de greutate se deplasează şi lateral. Propulsia succesivă a membrelor inferioare îndreaptă centrul de greutate cînd într-o parte, cînd în cealaltă (fig. 249 BB'). Combinarea deplasărilor centrului de greutate pe ambele planuri reprezintă deplasarea reală, care are o traiectorie sinusoidală.

Distanţa parcursă de corpul omenesc în alergare nu corespunde deci lungimii traiectoriei parcurse de centrul lui de greutate, care este totdeauna mai lungă. S-a calculat astfel că, în timpul unei curse de 100 m, centrul de greutate se deplasează pe o traiectorie de 105—112 m. Lungimea traiectoriei centrului de greutate este cu atît mai mare, cu cît tehnica de alergare este mai deficitară. Prin însuşirea unei tehnici corecte, alergătorul poate scurta cu aproximativ 7 m distanţa reală pe care o parcurge în timpul alergării.

FAZELE ALERGĂRII

Se recunosc două faze principale ale alergării : perioada de sprijin unilateral și fuleul.

Perioada de sprijin unilateral începe în momentul în care membrul inferior ia contact cu solul și se termină în momentul în care membrul inferior se desprinde de sol. Această perioadă reprezintă momentul de sprijin al alergării și se împarte în 5 faze secundare :

1. *Debutul sprijinului.*
2. *Cursa membrului inferior pendulant spre momentul verticalei.*
3. ***Momentul verticalei*** (membrul inferior pendulant ajunge în dreptul membrului inferior de sprijin).
4. *Cursa membrului inferior pendulant după momentul verticalei.*
5. *Sfîrșitul sprijinului.*

1. **Debutul sprijinului** reprezintă momentul contactului membrului inferior anterior cu solul. Vom vedea că acest contact se realizează în mod diferit în alergările de viteză și în alergările de fond. Membrul inferior de sprijin acționează ca un lanț cinematic închis.

Pentru menținerea greutății corpului, prin contracția izometrică a tractului ilio-tibial și a mușchilor coapsei, membrul inferior (devenit de sprijin) formează o coloană rigidă, care împinge capul femural în cavitatea cotiloidă. Mișcările șoldului și în parte ale genunchiului sînt frînate, în timp ce contracția tensorului fasciei lata și a fesierului mare fixează bazinul ca o gheară. Contracția tricepsului sural oprește căderea gambei înainte.

Bazinul, coapsa și genunchiul fiind blocate, întreaga tensiune de presiune se transmite bolții plantare, care este susținută de scara de șa formată de tendoanele gambierului anterior și lungului peronier lateral. Cum gambierului anterior îi revine rolul cel mai important în susținerea bolții, solicitarea lui este foarte mare. *Siegelbauer* remarcă — pe drept cuvînt — faptul că, la începători, gambierul anterior este primul mușchi care dă semne de oboseală și devine dureros, denumindu-l din această cauză „antisportivul".

2. **Cursa membrului inferior pendulant spre momentul verticalei.** Odată fixat membrul inferior de sprijin, începe înaintarea membrului inferior pendulant, care ajunge pînă în drep-

tul membrului inferior de sprijin, realizîndu-se astfel momentul verticalei. Cursa membrului inferior pendulant spre momentul verticalei reprezintă *faza de sprijin-frînare*. Membrul inferior de sprijin suportă și amortizează șocul căderii corpului pe sol, prin intrarea în acțiune a lanțului triplei extensii. Contracțiile musculaturii frenatoare au un caracter izometric și mușchii iau punct fix distal. Centrul de greutate se apropie de sol.

3. În **momentul verticalei,** centrul de greutate se găsește în punctul cel mai apropiat de sol, șoldul, genunchiul și glezna fiind ușor flectate.

4. **Cursa membrului inferior pendulant după momentul verticalei** reprezintă *faza de sprijin-propulsie*. Membrul inferior de sprijin începe să se extindă, iar genunchiul membrului inferior pendulant este proiectat înainte și în sus.

Extensia membrului inferior de sprijin este o mișcare complexă, compusă dintr-o serie de mișcări secundare, și anume, flexia plantei pe gambă, a gambei pe coapsă și a coapsei pe bazin, care se efectuează concomitent, prin intrarea în acțiune a lanțului muscular al triplei extensii, care se contractă izotonic.

Extensia piciorului pe gambă se face din articulația tibiotarsiană și se datorește contracției tricepsului sural, ca mușchi motor principal, ajutat de lungul și scurtul peronier lateral, lungul flexor comun al degetelor, lungul flexor propriu al halucelui, gambierul posterior și plantarul subțire, ca mușchi motori secundari, toți luîndu-și puncte fixe pe tibie și peroneu. Mișcarea se realizează în jurul unei axe biomecanice, care trece prin vîrful celor două maleole. Amplitudinea articulară de mișcare este utilizată în întregime.

Ca și la mers, extensia piciorului (flexia plantară) pe gambă se realizează la începutul mișcării după principiul unei pîrghii de gradul II, sprijinul (S) fiind la vîrful piciorului extins, rezistența (R) fiind reprezentată prin greutatea corpului care se sprijină pe mijlocul articulației tibio-tarsiene, iar puterea (P) prin tricepsul sural. Echilibrul corpului ridicat pe vîrfurile picioarelor reproduce însă o pîrghie de gradul I, deoarece pentru a primi această stare de echilibru corpul se înclină înainte, deplasîndu-și centrul de greutate. Rezistența trece de cealaltă parte a punctului de sprijin, ceea ce conduce la un echilibru analog cu al pîrghiei de gradul I, adică: RSP (*Imbert* și *Bédart*).

Extensiei piciorului pe gambă i se asociază extensia gambei pe coapsă, executată în articulaţia genunchiului, prin contracţia izotonică a cvadricepsului (în special a celor trei porţiuni femurale) şi a tensorului fasciei lata, care îşi iau puncte fixe pe femur şi spina iliacă antero-superioară. Mişcarea se realizează în jurul unei axe biomecanice transversale care străbate extremitatea inferioară a femurului. Amplitudinea articulară maximă de extensie este utilizată în întregime.

Urmează extensia coapsei pe bazin, executată în articulaţia coxo-femurală, prin contracţia muşchilor fesier mare, fesier mijlociu (fasciculele posterioare), biceps femural, semitendinos şi semimembranos, care îşi iau puncte fixe pe bazinul osos. Este utilizată o bună parte din amplitudinea articulară maximă de extensie.

La începători, în special, aceste două ultime extensii nu se pot executa, ceea ce produce atît o reducere a forţei de înaintare, prin micşorarea fuleului, cît şi un aspect urît în alergare.

Mişcarea membrului inferior pendulant, care este semiflectat din genunchi şi acţionează ca un lanţ cinematic deschis, se realizează prin semiflectarea coapsei pe bazin datorită contracţiei psoasului-iliac, tensorului fasciei lata, croitorului, dreptului anterior din cvadriceps, dreptului intern şi pectineului, care îşi iau puncte fixe pe bazinul osos şi se contractă izotonic. Ea are loc în articulaţia coxo-femurală în jurul axei biomecanice transversale latero-lateral, care ar trece aproximativ prin vîrful marelui trohanter şi prin centrul cotilului. Amplitudinea articulară de flexie nu este utilizată la maximum, ci numai pînă la momentul în care coapsa atinge orizontala (fig. 250) ; în acest moment articulaţia genunchiului se găseşte în punctul cel mai anterior posibil. Gamba este încă uşor flectată şi începe să se extindă, dar nu printr-un efort muscular, ci numai sub influenţa greutăţii sale şi a inerţiei. Muşchii intervin doar pentru a opri bascularea înainte, conform automatismului de coordonare, atunci cînd

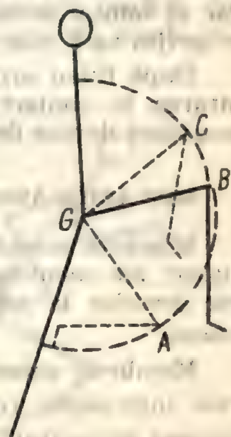


Fig. 250 — Cel mai înaintat punct al genunchiului se află în poziţia GB. Dacă se duce genunchiul mai sus în poziţia OC, lungimea fuleului scade.

proprioceptorii înștiințează centrii nervoși că gamba a atins poziția care s-a arătat a fi cea mai utilă înaintării individului respectiv.

5. **Sfîrșitul sprijinului.** Extensia completă a membrului inferior de sprijin se termină prin contracția lungului flexor propriu al halucelui, scurtul flexor propriu, adductorului și abductorului halucelui, care, producînd flexia falangelor primelor degete (lungul flexor propriu dă tendoane și celorlalte degete, nu numai halucelui) dau un ultim impuls în săritură. Ca și la mers, halucele începe să acționeze ca pîrghie de gradul III (SFR) cu forța la mijloc (vezi figura 245), dar în ultima fază, rezistența trecînd înaintea punctului de sprijin acționează ca o pîrghie de gradul I (RSF).

Fuleul. Datorită forței de propulsie corpul este proiectat înainte și în sus, apoi revine spre sol atras de forțele gravitaționale. Momentul în care ambele picioare nu ating solul reprezintă fuleul, care este în fond o mică săritură. Fuleul va fi cu atît mai mare, cu cît la membrul inferior pendulant articulația coxo-femurală se va deschide la un unghi mai favorabil, cu cît gamba va pendula spre un unghi mai favorabil de atac al solului și cu cît forța de extensie a membrului inferior de sprijin va fi mai mare.

După fuleu urmează o perioadă de sprijin unilateral prin intrarea în contact a membrului inferior anterior, care din pendulant devine de sprijin ș.a.m.d.

MIȘCĂRILE ASOCIATE ALE TRENULUI SUPERIOR

Mișcările membrelor inferioare sînt însoțite de o serie de mișcări ale membrelor superioare și trunchiului, identice cu cele descrise la mers, dar mai energice și mai ample decît acestea.

Membrele superioare se mișcă în sens invers față de membrele inferioare, realizîndu-se ceea ce se numește mișcarea sincronă încrucișată a membrelor. Propulsia încrucișată presupune rotarea alternativă a coloanei vertebrale într-o parte și în alta, care se realizează în special la nivelul coloanei vertebrale lombare. În propulsia încrucișată intervin o serie de lanțuri musculare care se încrucișează pe linia medio-dorsală. Aceste lanțuri sînt : spleniusul de o parte cu dințatul mare de

partea cealaltă, dorsalul mare de o parte cu fesierul mare de partea cealaltă și romboidul de o parte cu spleniusul de partea cealaltă.

CARACTERISTICILE ALERGĂRILOR DE FOND

Mecanismele anatomo-biomecanice la care apelează corpul omenesc pentru a realiza alergarea diferă după tipul de alergare.

În alergările de fond forța musculară necesară deplasării este mai mică și direcția ei de acțiune mai puțin înclinată (fig. 251 a). Pentru ca forța musculară să poată acționa mai în sus, trunchiul se îndreaptă pînă aproape de verticală, dînd posibilitatea flexorilor coapsei pe bazin (în special a porțiunii psoas a psoasului-iliac), care se contractă izotonic, să acționeze mai amplu prin apropierea capetelor de inserție. Unii alergători preferă chiar să alerge ușor înclinați pe spate.

Debutul sprijinului se face cu călcîiul, apoi, în perioada de sprijin unilateral, planta rulează dinapoi înainte, pe marginea externă, ca la mers. Contactul călcîiului cu solul se face deci puternic, iar mișcarea realizată de plantă poate fi denumită *mișcare tip tăvălug.* În tot timpul alergării centrul de greutate se găsește astfel plasat deasupra bazei de susținere.

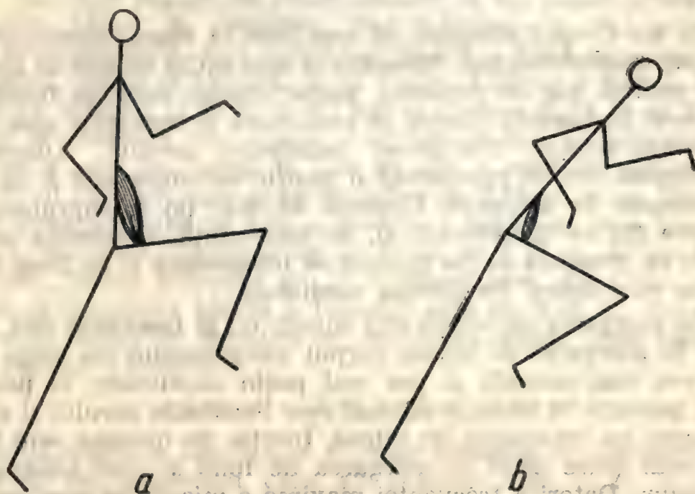


Fig. 251 — Poziția alergătorului de fond (a) și de sprint (b).

În alergarea de fond fuleul este mai mic, iar frecvenţa de asemenea. Alergarea de fond este, din punctul de vedere biomecanic, o alergare economică, corpul alergătorului luînd poziţia cea mai comodă şi mai puţin obositoare.

CARACTERISTICILE ALERGĂRILOR DE VITEZĂ

În alergările de viteză forţa musculară necesară deplasării este mai mare şi direcţia ei de acţiune este mai înclinată (fig. 251 b). Flexia coapselor pe bazin depinde mai mult de acţiunea porţiunii iliace a psoasului-iliac, iar trunchiul alergătorului se apleacă înainte.

Debutul sprijinului se face prin intrarea antepiciorului în contact cu solul, apoi planta rulează dinainte înapoi pînă ce călcîiul atinge solul. Atingerea cu călcîiul este superficială, coborîrea lui fiind controlată de tricepsul sural, care se contractă izometric. După ce s-a depăşit momentul verticalei, planta începe să ruleze invers, dinapoi înainte, pentru a participa la propulsia corpului înainte. Mişcarea realizată de plantă pe sol ar putea fi denumită *mişcare tip muşcătură*. Planta nu se aşterne pe sol ca un tăvălug, ci „muşcă" solul. Mişcarea de extensie a piciorului se datoreşte contracţiei izotonice a tricepsului sural ca muşchi motor principal, secondat de toţi ceilalţi extensori ai piciorului şi de flexorii plantari ai degetelor.

În tot timpul alergării, şi mai ales la start, trunchiul se menţine aplecat înainte. Alergătorul este astfel obligat să alerge după centrul lui de greutate, plasat mereu înaintea bazei de susţinere. În această poziţie se realizează şi condiţiile cele mai favorabile pentru învingerea rezistenţei aerului. Aplecarea trunchiului înainte reprezintă o *poziţie aerodinamică* a corpului omenesc în alergare. Unghiul de atac (a) şi suprafaţa de secţiune (S) se micşorează şi, în consecinţă, rezistenţa aerului (R) ce urmează să fie învinsă se micşorează şi ea (vezi cap. Forţele exterioare. Rezistenţa mediului).

La alergarea de viteză atît fuleul, cît şi frecvenţa sînt mai mari. În alergarea de sprint corpul alergătorului nu alege poziţia cea mai comodă şi cea mai puţin obositoare, ci poziţia care-i permite să învingă cît mai uşor rezistenţa aerului şi să se deplaseze cu maximum de viteză. Inerţia de mişcare este însă mult mai mare decît în alergarea de fond şi este folosită la maximum. Datorită frecvenţei maxime a mişcărilor membrelor inferioare, grupele musculare intervin numai în zonele extreme

ale amplitudinilor de mişcare. Timpul lor de acţiune devenind foarte scurt, ei nu se scurtează evident, regimul de lucru apropiindu-se de un regim izometric.

Datorită folosirii forţei de inerţie de mişcare şi a contracţiilor de scurtă durată a grupelor musculare, organismul reuşeşte astfel, chiar în condiţiile specifice ale alergării de viteză, să-şi economisească la maximum forţele interne.

IERARHIA CALITĂŢILOR BIOMOTRICE

Calităţile biomotrice diferă după tipul de alergare şi de la individ la individ. În general, se pot considera însă ca valabile, următoarele formule :

Sprint : V.D.S.I.F.R.
Semifond : V.D.R.F.S.I.
Fond : R.F.V.D.S.I.

VITEZA DE ALERGARE

În ultimă analiză, viteza (v) cu care se deplasează un alergător nu este decît un produs între lungimea fuleului (l) şi frecvenţa fuleelor pe secundă (n).

$$v = l \cdot n$$

Din cele expuse se poate deduce că nu poate fi vorba de un tip „ideal" de alergător. Nici înălţimea şi nici greutatea nu au importanţă dacă individul posedă o forţă musculară suficientă. Astfel se explică de ce Tolan (1,70 m) a fost la fel de bun ca Metcalf (1,86 m şi 85 kg) şi Owens (1,78 m şi 75 kg). Ceea ce contează este numai lungimea paşilor şi frecvenţa lor. Tolan a avut un fuleu de 1,80 m, dar a realizat performanţe egale cu Metcalf, care avea un fuleu de 2,55 m, şi cu Simpson, care avea un fuleu de 2,70 m, deoarece beneficia de o frecvenţă mult mai mare. Owens avea un fuleu de 2,10 m, Moina la fel. Snyder, fostul antrenor de la Universitatea din Ohio, consideră că lungimea ideală a fuleului este de 2,40 m. Acceptînd această părere şi socotind că frecvenţa ideală este egală cu 4,2 fuleuri/s, rezultă :

$$v = l \cdot n \quad v = 2{,}40 \times 4{,}2 = 10{,}80 \text{ m/s}$$

Această viteză a fost atinsă şi chiar depăşită în alergarea lansată de toţi sprinterii care au realizat sub 10,2—10,3 s pe 100 m plat.

CONCLUZII METODOLOGICE

Pentru a mări viteza se mărește frecvența (n), menținîndu-se aceeași lungime sau se mărește lungimea (l), menținîndu-se aceeași frecvență, ori ambii factori.

Frecvența sau viteza de repetiție este legată de caracteristicile neuro-musculare ale indivizilor. Ea poate fi îmbunătățită prin mărirea excitabilității arcurilor nervoase și scurtarea timpului de reacție, precum și prin organizarea curbei de alergare.

Mărirea excitabilității arcurilor nervoase se poate realiza, de exemplu, prin alergarea pe plan înclinat de 8°, recomandată de *Ionov Pugacev*. Exercițiile de alergare pe plan înclinat, ușurînd condițiile biomecanice de deplasare, permit efectuarea lor cu o frecvență mai mare, care poate fi menținută, cu timpul, și pe plat.

Organizarea curbei de alergare reprezintă un rezultat al desăvîrșirii proceselor de coordonare care dirijează alergarea. Prin organizarea acestei curbe, lungimea traiectoriei reale a centrului de greutate se scurtează. Curba de alergare se înregistrează grafic trecîndu-se pe abscisă numărul pașilor și pe ordonată lungimea lor. Dacă se controlează această curbă la un alergător la începutul perioadei de antrenament, se constată că este foarte neregulată, în timp ce în plin sezon competițional ea este mai omogenă. Prin antrenament, fuleele devin simetrice ca lungime, ceea ce arată că deplasările centrului de greutate atît în plan vertical, cît și în plan orizontal sînt mult mai mici (*I. Moinea*).

Teoretic, mărirea fuleului se poate realiza în trei feluri :

1) mărind intensitatea forței de extensie a membrului inferior de sprijin ;

2) mărind unghiul fuleului (unghiul femuro-femural, cu vîrful la nivelul articulațiilor coxo-femurale) și

3) pendulînd cît mai înainte gamba piciorului pendulant.

Prin pendularea exagerată înainte a gambei piciorului pendulant, alergătorul riscă să-și piardă însă echilibrul și să nu mai atace solul sub un unghi favorabil, iar prin mărirea unghiului fuleului (unghiul femuro-femural) nu se pot obține rezultate bune, deoarece am văzut că poziția cea mai favorabilă a coapsei pentru pendularea gambei înainte este cea orizontală (vezi figura 250). În afară de aceasta, o exagerare a fuleului atrage obligator o diminuare a frecvenței fuleelor. Ideea că fuleul se mărește prin ducerea gambei mult în spate este, de asemenea, greșită, această mișcare nefiind utilă.

Mărirea intensităţii forţei de extensie a membrului inferior, care nu presupune o micşorare a frecvenţei, rămîne calea cea mai eficace pentru obţinerea unei viteze superioare. Dat fiind regimul practic, izometric, în care se desfăşoară contracţiile musculare, exerciţiile pregătitoare se recomandă să aibă un caracter de asemenea izometric.

SĂRITURA

Săritura este o deprindere motrică, prin care corpul omenesc realizează o despărţire momentană de sol. Ca exerciţiu fizic, săritura se întîlneşte în programele de gimnastică (sărituri cu sau fără aparate), în atletism (sărituri în lungime, în înălţime, cu prăjina, triplusalt), în jocurile cu mingea (volei, baschet, fotbal etc.).

TRAIECTORIA CENTRULUI DE GREUTATE ŞI FORŢELE EXTERNE

Traiectoria centrului de greutate prezintă forme variate în raport cu tipul săriturii (fig. 252). Forma ei este legată de intensitatea impulsului care a provocat separarea corpului de sol, de direcţia acestui impuls şi de intensitatea rezistenţei aerului (vîntul din faţă sau din spate scurtează sau lungeşte traiectoria).

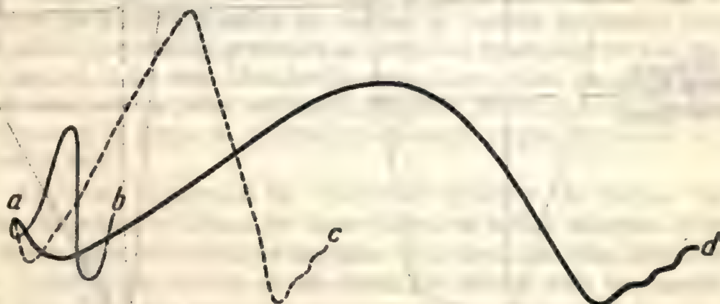


Fig. 252 — Traiectoriile centrului de greutate în timpul diverselor sărituri :

ab — săritură de pe loc, ac — săritură în înălţime cu elan, ad — săritură în lungime cu elan.

Atît timp cît corpul omenesc se află imobilizat într-o poziție oarecare pe sol, deci în inerție de repaus, asupra lui se aplică două forțe contrarii, dar egale: acțiunea gravitației *(forța de acțiune)* și rezistența solului *(forța de reacție)*.

Pentru învingerea inerției de repaus, este necesară intervenția forțelor interne, care urmează să învingă ambele rezistențe, reprezentate de masa corpului, pe de o parte, și de sol, pe de altă parte.

Corpul săritorului se poate asemăna cu un arc spiral care se destinde. Cu capătul de jos arcul învinge rezistența solului, iar cu capătul de sus — masa corpului. Pentru ca o asemenea acțiune să fie posibilă, arcul trebuie să fie pus în prealabil sub tensiune. Prin analogie, se înțelege de ce și corpul săritorului trebuie să se flecteze mai întîi, să se adune la sol și apoi să se extindă. Presiunea cu care corpul omenesc apasă asupra solului atinge valori deosebite în diferitele faze ale săriturii. Astfel, într-o săritură în lungime de pe loc (fig. 253), ea scade ușor în elan

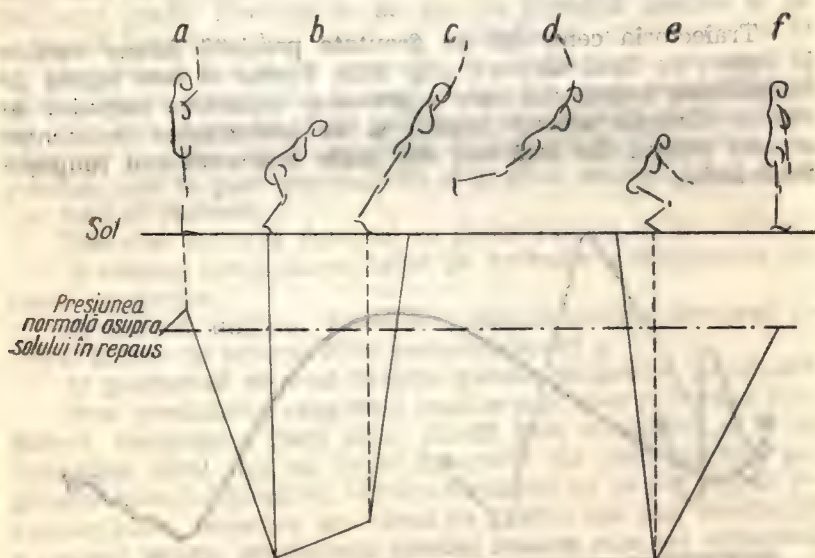


Fig. 253 — Variațiile presiunii asupra solului într-o săritură în lungime de pe loc:
a — elanul, b — ghemuirea, c — explozia, d — săritura, e — căderea, f — echilibrarea.

(a), atinge valorile maxime în prebătaie (b), este nulă în timpul săriturii propriu-zise (d') și atinge din nou valorile maxime în cădere (e).

FAZELE SĂRITURII

Indiferent care este forma de săritură studiată, recunoaștem următoarele faze :

— elanul,
— prebătaia,
— bătaia,
— zborul,
— aterizarea.

Elanul este faza premergătoare prebătăii. El poate consta dintr-o alergare sau o simplă pregătire pe loc, rezultată din balansarea membrelor superioare.

Prebătaia constituie faza în care segmentele corpului se flectează, pregătindu-se astfel bătaia. În această fază segmentele corpului se adună în jurul centrului de greutate și acesta coboară. În săriturile în care elanul este reprezentat de o alergare, prebătaia se confundă cu ultimul fuleu, care este mai scurt decît celelalte. Prebătaia reprezintă un moment deosebit de important în realizarea săriturii, în cadrul ei mișcarea uniform accelerată a elanului fiind transformată în mișcare ascensională. Experiențele au demonstrat în acest sens că forța care se consumă în prebătaie este mult mai mare decît aceea care se consumă în bătaie.

Bătaia reprezintă momentul triplei extensii. Piciorul se extinde pe gambă, gamba pe coapsă și coapsa pe bazin, proiectînd astfel centrul de greutate al corpului înainte și în sus, în sus, sau înapoi și în sus. Membrele superioare sînt și ele aruncate pe direcția traiectoriei săriturii, aducînd astfel o contribuție suplimentară la forța de propulsie cu care corpul urmează să părăsească solul.

Acțiunea suportată de membrul inferior de bătaie nu se poate asemăna cu aceea pe care o suportă o bilă elastică ce trece de pe un plan orizontal pe un plan oblic înclinat (fig. 254). Membrul inferior de bătaie atacă locul de bătaie sub un unghi de 135° (fig. 255), din care cauză componenta orizontală de elan *AB* sau *1*, devenită *AC* sau *r*, se micșorează după formula $AC = AB \cdot \cos 45°$ (fig. 256). Presupunînd că această componentă de elan *AB* ar fi egală cu 10 m/s, ea se va micșora, prin bătaie, la 7,06 m/s.

Comparaţia cu bila care se rostogoleşte ne apare încă şi mai puţin justificată dacă ne gîndim că elanul nu este o rostogolire, mecanismul de mişcare al bilei fiind mult mai amplu decît mecanismul de deplasare al corpului omenesc, care se bazează pe un ansamblu de acţiuni mult mai complexe. O comparaţie mai bună poate fi făcută cu destinderea unei spirale metalice (fig. 257). Deplasarea înainte a acestei spirale metalice se petrece astfel : după fixarea în punctul *D* (fig. 257 a), componenta de elan *AC* îndreaptă spirala spre verticală *DF* (fig. 257 b), apoi spre poziţia de înălţare (fig. 257 c). Spirala destinsă în prima fază este comprimată în poziţia verticală, pentru a se destinde puternic în poziţia ultimă.



Fig. 254 — Acţiunea suportată de o bilă care trece de pe un plan orizontal, pe un plan oblic înclinat.

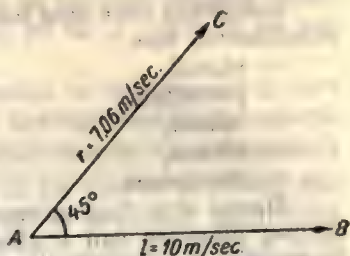


Fig. 256 — Prin bătaie, componentei de elan AB i se micşorează viteza de la 10 m/s la 7,06 m/s.

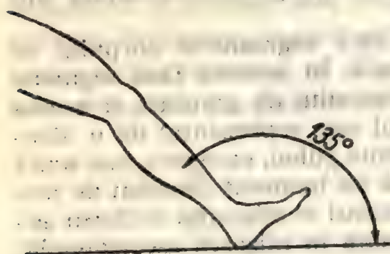


Fig. 255 — Gamba atacă solul sub un unghi de 135°.

Zborul reprezintă faza în care corpul omenesc nu este în contact cu solul. Traiectoria centrului de greutate în timpul zborului, ca direcţie şi lungime, este o rezultantă a forţelor care au acţionat în fazele premergătoare. Ea nu mai poate fi modificată şi se aseamănă traiectoriei unui proiectil.

În timpul zborului menţinerea echilibrului se realizează în afara oricărui punct de sprijin. În această situaţie, trecătoare, echilibrul se menţine cînd diferitele segmente corporale se grupează în jurul traiectoriei descrise de centrul de greutate.

Aterizarea, ca ultimă fază a săriturii, reprezintă efectul final al gravitației, prin care săritorul reia contactul cu solul. La săritura în lungime și la triplusalt, lungimea săriturii poate fi mărită, imediat înaintea căderii, prin aruncarea membrelor inferioare înainte. Aceasta nu realizează o modificare a traiecto-

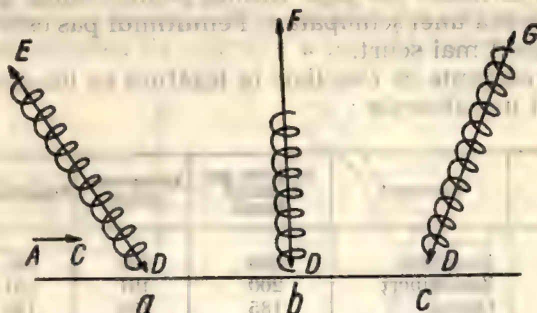


Fig. 257 — Bătaia se poate compara cu destinderea unei spirale metalice.

riei centrului de greutate al corpului în timpul zborului, ci numai o prelungire a punctului de contact al membrelor inferioare cu solul.

IERARHIA CALITĂȚILOR BIOMOTRICE

În realizarea săriturii, calitățile biomotrice intervin, în general, în următoarea ordine : D.V.S.F.I.R. În particular, această ierarhie se referă la o săritură de pe loc, deoarece în cadrul altor tipuri de sărituri, ierahia se schimbă. Astfel, pentru lungime și triplusalt mai apropiată de realitate ar fi : V.D.F.I.S.R., iar pentru săritura cu prăjina : I.S.D.V.F.R.

FACTORII DE CARE DEPINDE DETENTA

Am văzut că energia dezvoltată de organism în vederea realizării săriturii ne apare sub forma detentei de săritură, o calitate biomotrică, numită astfel prin comparație cu fenomenul de detentă întîlnit în fizică, ce constă din realizarea unei presiuni mari într-un spațiu mic, urmată de o destindere bruscă.

Calitatea detentei este dependentă de o serie de factori, dintre care vom descrie cîțiva mai importanți.

Viteza elanului. Un elan bun şi un ritm corect al penultimului şi ultimului pas reprezintă primii factori de care depinde o detentă de calitate.

La săriturile cu elan, o viteză de alergare mărită este sinonimă cu o forţă de impulsie mărită.

Ritmul ultimilor doi paşi. Ritmul penultimului şi ultimului pas se aseamănă unei şchiopătări. Penultimul pas este uşor alungit, iar ultimul mai scurt.

Datele obţinute de *Diacikov* în legătură cu lungimea ultimilor paşi sînt următoarele :

Proba	Săritorul	Al 4-lea pas înaintea bătăii	Antepenultimul	Penultimul	Ultimul
Lungime	Kuzneţov	220	205	255	200
Triplusalt	Zambriborţ	200	191	201	186
Prăjină	Ozolin	185	178	193	172
Înălţime	Kuzneţov	167	184	205	187

Lungimea membrelor inferioare. Săritorii cu membrele inferioare lungi sînt avantajaţi prin faptul că centrul lor de greutate este situat mai sus şi deci mai aproape de înălţimea ce urmează a fi trecută. Afirmaţia se referă în special la săritorii în înălţime.

Forma bolţii plantare şi raportul dintre braţele pîrghiei piciorului. O boltă plantară adîncită îl favorizează, iar una aplatizată îl defavorizează pe săritor. Adîncimea medie a bolţii plantare este deosebită pentru diferitele categorii de sportivi. *Acad. Şt. Milcu* şi *E. Walter* au arătat astfel că adîncimea bolţii este mai mare la sprinteri (7,70—4,90) şi săritori (4,52—4,50) decît la aruncători (4,35—4,34) şi la fondişti (3,89—4,06).

Raportul dintre braţele pîrghiei piciorului joacă, de asemenea, un rol deosebit de important. Cu cît braţul forţei (1), deci braţul dintre axa biomecanică transversală a gleznei şi tuberozitatea posterioară a calcaneului, este mai mare, cu atît forţa (F) creşte (fig. 258).

Laba piciorului renumitului dansator *Nijinsky* „măsura aceeaşi distanţă de la gleznă la călcîi, ca de la degete la gleznă". Nijinsky pretindea că datorită acestui raport putea sări cu atîta uşurinţă.[1]

[1] *Romola Nijinsky* — „Viaţa lui Nijinsky". Bucureşti, Editura Pygmalion, 1936, p. 337—338.

Conformaţia membrelor inferioare la unele animale care au calitatea de a alerga repede şi de a sări mult respectă acelaşi principiu. Astfel, membrul inferior al gazelei are piciorul mult mai lung în comparaţie cu celelalte segmente, iar braţul forţei de asemenea mai lung (fig. 259).

Lungimea fibrelor musculare ale lanţului muscular al triplei extensii. Posibilitatea de scurtare a muşchiului este proporţio-

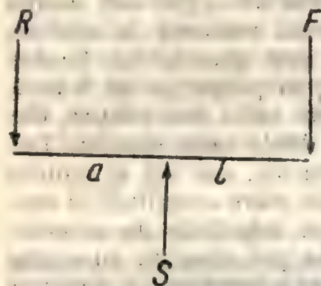


Fig. 258 — Pentru menţinerea echilibrului : R+F=S sau Rxa=Fxl, de unde $R=F\frac{l}{a}$

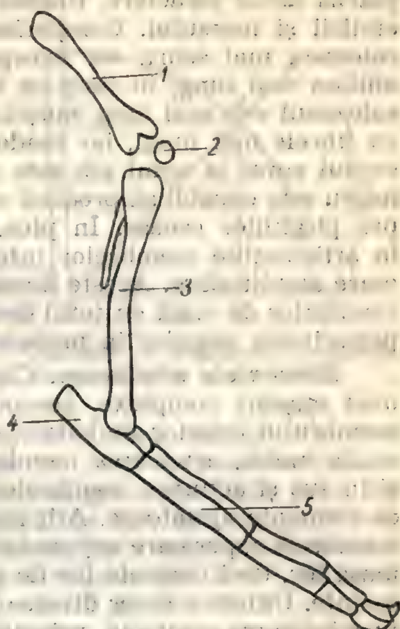


Fig. 259 — Scheletul membrului posterior al unei gazele. Segmentul tarso-metatarsian este foarte lung în raport cu segmentul gambei şi coapsei ; 1 — femur, 2 — rotulă, 3 — gambă, 4 — tars, 5 — metatars.

nală cu lungimea fibrelor lui. Lanţul muscular al triplei extensii al membrului inferior de bătaie realizează extensia cu o forţă cu atît mai mare, cu cît apropierea capetelor de inserţie ale muşchiului este mai mare. De exemplu, la oamenii albi contracţia tricepsului sural în timpul bătăii produce o apropiere a capetelor de inserţie de aproximativ 3,2 cm, pe cînd la negrii apropierea este de 5 cm.

Lungimea fibrelor musculare ale tricepsului sural este în directă legătură cu lungimea calcaneului. Iepurele de casă are un calcaneu foarte lung şi muşchiul gastrocnemian produce deci o mişcare de mare amplitudine. Scurtînd prin rezecţie calcaneul

unui iepure, se poate observa, după un an de zile, cum partea contractabilă a gastrocnemianului se scurtează, iar tendonul lui Ahile se alungeşte.

Condiţiile de viaţă cu totul deosebite şi influenţa pe care mediul o are asupra apariţiei şi dezvoltării organelor şi funcţiilor au făcut ca morfologia şi fiziologia membrului inferior la un negru african să difere de aceea a unui alb. Membrul inferior al albului, datorită sedentarismului, a început să-şi piardă unele caractere, tinzînd să devină un organ util numai staticii şi mersului. Comparîndu-le, vom remarca la albi un calcaneu mai scurt, un triceps sural mai gros şi un tendon ahilian mai lung, în timp ce la negri, în proporţie de 5 la 7, calcaneul este mai lung, muşchiul triceps sural mai subţire, dar cu fibrele mai lungi, iar tendonul lui Ahile mult scurtat. Tricepsul sural la omul alb este mai puternic, dar cel al omului negru este capabil să producă mişcări de mare amplitudine asupra pîrghiilor osoase. În plus, la negri mişcările de extensie în articulaţiile membrelor inferioare se pot executa cu o mai mare amplitudine. Aceste deosebiri morfo-funcţionale, datorate condiţiilor de viaţă cu totul deosebite, pot explica, în parte, superioritatea negrilor în probele de detentă şi de sprint.

Elementele ajutătoare. Cîştigarea în înălţime se datoreşte unei mişcări complexe, compusă în linii mari din : extensia membrului inferior de bătaie, care acţionează ca un lanţ cinematic închis, aruncarea membrului inferior pendulant înainte şi în sus şi acţiunea membrelor superioare care intervin şi ele ca elemente ajutătoare. Atît membrul inferior pendulant, cît şi membrele superioare acţionează ca lanţuri cinematice deschise, masa lor, deci centrele lor de greutate fiind aruncate în sus şi înainte. Unirea acestor diverse impulsuri cu cel al elanului produce înălţarea centrului principal de greutate. Experienţele efectuate la Institutul de Cultură Fizică din Leningrad au arătat că centrul de greutate al săritorului în momentul bătăii se ridică 72% pe seama forţei de extensie a membrului inferior de bătaie, 15% datorită aruncării membrului inferior pendulant în sus şi înainte, şi 13% ca urmare a ridicării membrelor superioare. Printr-o bună coordonare, elementele ajutătoare pot ajunge astfel să fie utilizate cu maximum de profit.

Detenta, forţa prin care corpul omenesc poate învinge pentru moment forţa gravitaţiei, nu reprezintă deci, în ultimă instanţă, decît suma impulsurilor în sus şi înainte, imprimate centrului de greutate principal de diversele mişcări ale segmentelor, în momentul bătăii.

Viteza de detentă. Înţelegem prin aceasta viteza cu care sînt puşi în acţiune factorii descrişi mai înainte, deci viteza de execuţie. Cu cît viteza de detentă este mai mare, cu atît detenta creşte. Viteza de detentă se aseamănă celei de explozie şi de piruetă, despre care vom vorbi la forţa de aruncare.

Aspecte biomecanice speciale. Înălţarea centrului de greutate mai depinde şi de unghiul de săritură (fig. 260), adică de unghiul sub care axa gambei membrului inferior detentor părăseşte solul, cunoscut fiind că viteza iniţială (v), cu care se părăseşte solul, este dependentă atît de detentă (f), cît şi de unghiul sub care se sare :

$$v = f\ (a)$$

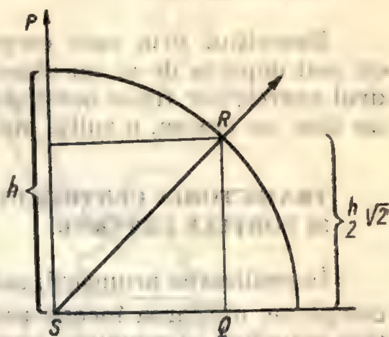


Fig. 260 — Ridicarea centrului de greutate în urma bătăii.

Viteza iniţială (v) cu care se părăseşte solul nu este deci o variantă independentă, ci se prezintă ca fiind în funcţie de unghiul de săritură (a), ceea ce ne obligă să calculăm sub ce unghi de săritură valoarea lui (v) va fi maximă. Acest unghi depinde de natura săriturii. În linii generale, se poate presupune că un corp care cîntăreşte, de exemplu, 70 kg va învinge mult mai greu gravitaţia prin detenta lui dacă va sări sub un unghi de 90°, deci drept în sus, decît dacă va sări sub un unghi de 0°, ca la startul înotătorului sau sub un unghi de 45°. Dacă pentru un unghi de 90° săritorul trebuie să-şi ridice centrul de greutate de la S la P, adică cu h, pentru un unghi de 45° el trebuie să-şi ridice centrul de greutate numai de la Q la R, adică cu $\frac{h}{2}\sqrt{2}$.

CONCLUZII METODOLOGICE

Cunoaşterea factorilor de care depinde detenta uşurează alcătuirea programului de exerciţii care o poate dezvolta.

Lungimea membrelor inferioare, forma bolţii plantare, raportul dintre braţele pîrghiei piciorului şi lungimea fibrelor musculare ale lanţului triplei extensii nu pot fi modificate.

Programul de antrenament urmează să se axeze pe îmbunătăţirea celorlalţi factori, cum sînt : viteza elanului, viteza şi

34 — Anatomia funcţională şi biomecanica aparatului locomotor — cd. 271

forța de contracție a lanțului triplei extensii, precum și pe însușirea unei tehnici cît mai adecvate caracteristicilor morfo-funcționale ale sportivului, cum sînt ritmul ultimilor doi pași, folosirea la maximum a elementelor ajutătoare și folosirea unui unghi de săritură cît mai eficace.

ARUNCAREA

Exercițiul prin care corpul omenesc urmărește să asvîrle cît mai departe de el un obiect oarecare este aruncarea. În cadrul exercițiilor fizice acest obiect poate fi o minge, o greutate, un disc, un ciocan, o suliță etc.

TRAIECTORIA CENTRULUI DE GREUTATE ȘI FORȚELE EXTERNE

În realizarea aruncării, ca și a tuturor deprinderilor motorii complexe, mișcarea începe prin mobilizarea centrului de greutate principal al corpului, care trebuie deplasat pe o traiectorie cît mai eficientă. Cum în orice mișcare echilibrul tinde să se distrugă datorită deplasării centrului de greutate, această pierdere a echilibrului trebuie folosită.

Un exemplu concludent ni se pare deplasarea centrului de greutate în timpul aruncării mingii de handbal spre poartă, mișcare studiată cinematografic de *Govaerts* și *Doutreve*. Pentru a „trage" cît mai puternic, jucătorul de handbal adaugă forței membrului superior pe cea a membrelor inferioare, forță care se transmite corpului, făcîndu-l să-și piardă echilibrul. Mișcarea începe din poziția stînd. Centrul de greutate, situat la nivelul ultimelor vertebre lombare, se proiectează în mijlocul bazei de susținere. Corpul este în echilibru (fig. 261, I). Pregătindu-se să tragă, jucătorul flectează genunchii ajungînd în poziția pe vîrfuri (fig. 261, II). Baza de susținere se reduce, echilibrul este instabil, centrul de greutate coboară, proiecția lui cade în mijlocul bazei reduse de susținere. Ridicarea membrului superior stîng înainte și a celui drept înapoi ajută la menținerea echilibrului. Prin flectare și mai accentuată a gleznelor și genunchilor și deplasarea trunchiului înainte, centrul de greutate continuă să coboare și proiecția lui cade înaintea bazei de susținere. Echilibrul se rupe și corpul cade înainte (fig. 261, III).

În momentul pierderii echilibrului, gleznele și genunchii se extind brusc, centrul de greutate este proiectat înainte și în sus, iar membrul superior drept se întinde (fig. 261, IV). Mingea este astfel aruncată cu forța combinată a membrelor inferioare și a membrului superior. Din acest moment, centrul de

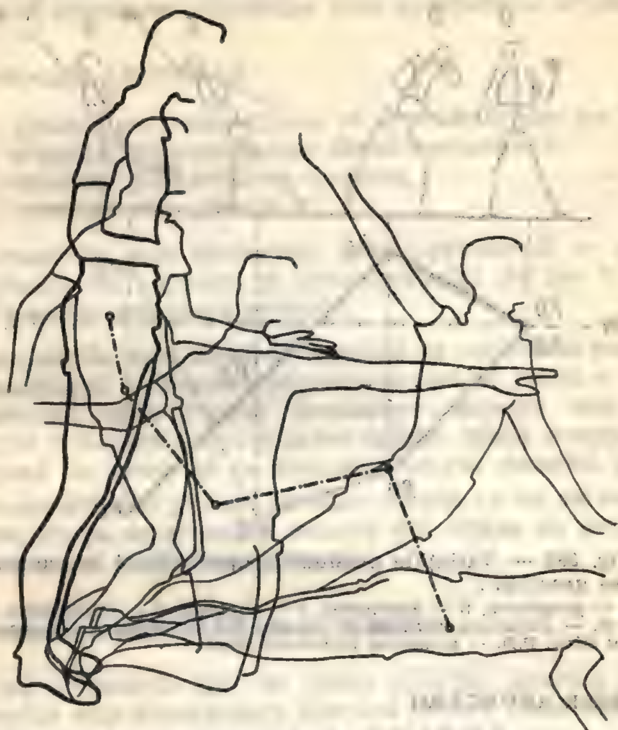


Fig. 261 — **Traiectoria centrului de greutate la handbal.**

greutate coboară și corpul jucătorului ia contact cu solul (fig. 261, V). Din clipa în care mîinile ating solul, baza de susținere este foarte mare și echilibrul se restabilește.

Dintre forțele externe care intervin, cea mai importantă este rezistența solului și presiunea care se exercită asupra acestuia. În cadrul fiecărei aruncări, presiunea cu care plantele apasă asupra solului variază caracteristic. Această variație a inten-

sității de presiune este diferită pentru fiecare membru inferior. Astfel, la aruncarea greutății (fig. 262) cu mîna dreaptă, față de presiunea normală (PN), presiunea cu care apasă piciorul drept variază după traiectoria PD, în timp ce presiunea cu care apasă piciorul stîng variază după traiectoria PS.

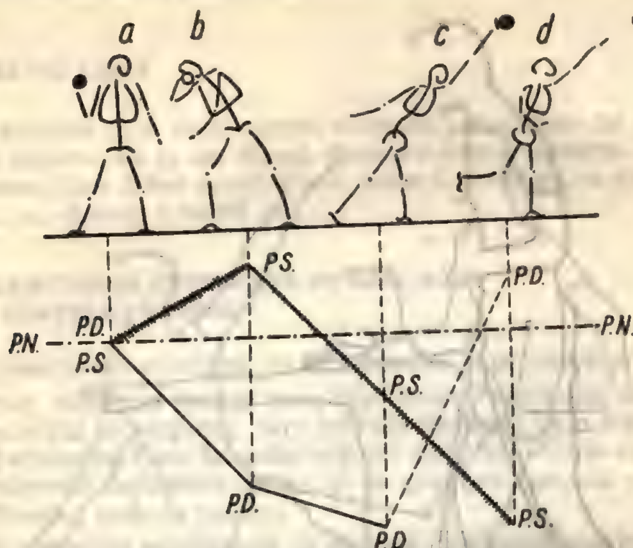


Fig. 262 — **Variațiile presiunii asupra solului la aruncarea greutății :**

a — pregătirea, b — ghemuirea, c — explozia, d — echilibrarea ; P.N. — presiunea normală în repaus, P.S. — presiunea piciorului stîng, P.D. — presiunea piciorului drept.

FAZELE ARUNCĂRII

Orice aruncare se compune din 4 faze principale :

1. *Pregătirea.*
2. *Ghemuirea.*
3. *Explozia.*
4. *Echilibrarea.*

1. **Pregătirea** reprezintă apucarea obiectului de aruncat, plasarea pe locul de aruncare și concentrarea.

2. **Ghemuirea** se aseamănă cu prebătaia și reprezintă punerea sub tensiune a tuturor lanțurilor musculare extensoare care vor executa momentul următor, momentul exploziei.

3. **Explozia** reprezintă extensia lanțurilor musculare extensoare ale membrelor inferioare, ale trunchiului și membrului superior care execută aruncarea.

4. **Echilibrarea** urmează exploziei, cînd corpul se dezechilibrează. Pentru menținerea echilibrului intervin mușchii neutralizatori ai tuturor mișcărilor care au executat aruncarea.

FORMELE ARUNCĂRII

În general, se poate afirma că aruncările sînt de 3 tipuri :

1. *aruncări prin destindere distalo-proximală,*
2. *aruncări prin arcuirea corpului,*
3. *aruncări prin piruetă.*

Aruncările prin destindere distalo-proximală se realizează prin ghemuirea corpului și extinderea lui de jos în sus. Ca prototip avem aruncarea greutății.

Aruncările prin arcuirea corpului se realizează prin extensia trunchiului și membrelor, care alcătuiesc astfel o tijă elastică arcuită, prin a cărei destindere obiectul este aruncat. Exemplu îl reprezintă aruncarea suliței. Marii drepți abdominali joacă în acest tip de aruncare un rol deosebit (fig. 263).

Aruncările cu piruetă folosesc corpul ca un ax care se învîrtește. Forța de aruncare rezultă din viteza de învîrtire. Ca prototip avem aruncarea ciocanului.

IERARHIA CALITĂȚILOR BIOMOTRICE

Deși aruncările sînt de tipuri diferite, ierarhia calităților biomotrice este aproximativ identică pentru toate tipurile, formula ei putînd fi astfel enunțată : F.V.I.S.D.R.

După cum se vede, forța apare pe primul plan, urmată de viteză și îndemînare, apoi de suplețe și detentă și pe ultimul plan de rezistență.

FACTORII DE CARE DEPINDE FORȚA DE ARUNCARE

Energia dezvoltată de organism în vederea realizării aruncării ne apare sub forma forței de aruncare.

În mecanică, *forța=masa×accelerația*. În biomecanica aruncării, *forța = forța de contracție×viteza de contracție*. În mod

practic, aceşti doi factori se combină, mărirea forţei de aruncare realizîndu-se mai mult în contul unuia din aceşti factori. La ridicarea repetată consecutivă a unor greutăţi din ce în ce mai mari, forţa creşte, prin mărirea forţei de contracţie, viteza de contracţie rămînînd aproximativ constantă. La aruncarea greutăţii, creşterea forţei de aruncare este dependentă de creşterea vitezei

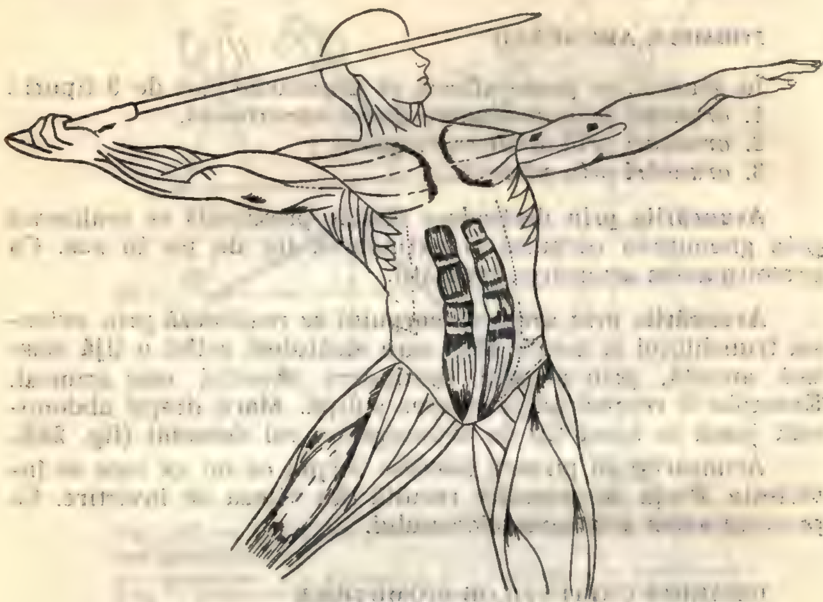


Fig. 263 — Acţiunea dreptului anterior abdominal în aruncarea suliţei.

de contracţie, forţa de contracţie care suportă o aceeaşi masă rămînînd aproximativ constantă.

Forţa de contracţie. Primul factor al forţei de aruncare, forţa de contracţie, este dependent, în special, de următoarele elemente :

1. *Numărul lanţurilor osteo-musculo-articulare angajate în mişcare.* Muşchii nu acţionează izolat, ci în lanţuri musculare, iar articulaţiile se mişcă şi ele în lanţuri articulare. Cu cît lanţul musculo-articular prinde mai multe segmente pe linia de arun-

care, cu atît forța se mărește. De aceea, o aruncare nu se face numai cu membrele superioare, ci din tot corpul, acțiunea pornind din vecinătatea centrului de greutate, unde se află masele musculare cele mai puternice, și extinzîndu-se către periferie.

2. *Lungimea pîrghiilor osoase.* Segmentele membrelor se deplasează — după cum știm — după principiul unor pîrghii. La nivelul membrului superior care execută aruncarea, pîrghiile acționează cu forța la mijloc, sînt deci pîrghii de gradul III, dar la nivelul membrelor inferioare, pîrghiile acționează cu sprijinul la mijloc și sînt deci pîrghii de gradul I. Cu cît aceste pîrghii sînt mai mari, cu atît forța lor de acțiune crește. De aceea, aruncătorii buni sînt, mai totdeauna, cei care au membrele superioare lungi. Copiii, neavînd complet osificate segmentele osoase, nu pot executa aruncări de forță fără pericol de decolări sau decolări-fracturi.

3. *Secțiunea transversală a maselor musculare.* Știm că forța de contracție a unui mușchi este egală cu secțiunea sa transversală. Cu cît secțiunea transversală a maselor musculare este mai mare, cu atît forța de contracție crește. Nu este, deci, suficient ca masa corporală a unui aruncător să impună printr-o mare cantitate de țesut celular grăsos — țesut inert și îngreunător — ci printr-o masivă dezvoltare a maselor musculare.

4. *Elasticitatea musculară.* Apucarea unui material ce urmează să fie aruncat (greutate, suliță, minge etc.) are drept urmare o punere sub tensiune a mușchilor. De exemplu, în aruncarea greutății, aceasta se plasează pe degete, degetele fiind extinse pe mînă și mîna pe antebraț, ceea ce atrage o depărtre a capetelor de inserție, o alungire și o punere sub tensiune a mușchilor flexori ai degetelor și mîinii. Alungirea solicită elasticitatea musculară și mușchii devin veritabile amortizoare elastice destinse.

Aruncarea se realizează, în primul rînd, prin contracția mușchilor, dar din momentul în care greutatea începe să fie împinsă și inerția sa de repaus învinsă, tensiunea elastică a fibrelor care își apropie treptat capetele de inserție scade. Viteza de scurtare a fibrelor, datorită elasticității acestora, se adaugă astfel forței contractile cu care greutatea este aruncată.

Viteza de contracție. Al doilea factor al forței de aruncare este viteza de contracție, care se poate numi, în cadrul aruncă-

rilor, viteză de explozie sau viteză de piruetă. Cu aparatele de precizie s-a putut înregistra viteza cu care se mişcă membrul superior în diferitele exerciţii sportive. Astfel, boxerii buni lovesc cu o viteză de 220 km/h (adică 61,11 m/s). Mişcarea cea mai rapidă a fost însă înregistrată la jucătorul de tenis Tilden, care servea mingea lovind-o cu o viteză de 240 km/h.

La aruncările cu piruetă, viteza intervine şi mai mult decît la aruncările simple. Cităm ca exemplu viteza de piruetă la aruncarea ciocanului pe care o avea Heine, fostul recordman mondial al probei, care realiza piruetele în următorii timpi : prima în 1,0 s, a doua în 0,6 s, iar a treia în 0,4 s. Viteza de explozie sau de piruetă este dependentă, în special, de următoarele elemente :

1. *Relaxarea precontracţională.* În scurtarea izotonică a muşchiului, forţa se consumă şi pentru învingerea vîscozităţii muşchiului însuşi. Consumul de forţă pentru învingerea forţei interne se măreşte odată cu creşterea vitezei de contracţie. Aşa cum explică acest lucru *Farfel*, cu cît muşchiul este mai vîscos, cu atît viteza maximă de contracţie este mai mică şi, invers, cu cît muşchiul este mai puţin vîscos, cu atît se poate dezvolta o viteză mai mare. De aici se poate trage învăţătura practică de a aştepta cît mai relaxat momentul de explozie.

2. *Starea de întindere a muşchilor.* Relaxarea se însoţeşte de o stare de întindere neforţată a muşchilor, contracţia fiind cu atît mai puternică, cu cît fibrele musculare au capetele de inserţie mai depărtate. Avîntul, adică mişcarea pregătitoare, în sens contrar sensului de aruncare, are tocmai acest rost, de a depărta capetele de inserţie ale muşchilor.

Aspecte biomecanice speciale. Forţa de aruncare, în totalitate, mai este dependentă însă de doi factori de mare importanţă.

1. *Rezistenţa şi elasticitatea solului.* În timpul aruncării, organismul se poate asemăna cu o spirală care, după ce a fost comprimată, se destinde în ambele sensuri. În timp ce prin extremitatea lui superioară aruncă, de exemplu, greutatea, prin extremitatea lui inferioară corpul se sprijină puternic pe sol şi execută chiar o mică săritură înainte. Calitatea sprijinului pe sol şi deci maxima eficacitate de aruncare a întregului mecanism este direct legată de rezistenţa şi elasticitatea solului. Dacă

solul nu are o rezistență suficientă, o bună parte din forța care urma să fie folosită pentru aruncare se pierde. Iată cum realizarea performanței este legată și de calitatea zgurei, acest factor extern influențînd întregul mecanism al aruncării.

2. *Unghiul de aruncare.* Cel mai favorabil unghi de aruncare depinde de natura aruncării, de înălțimea aruncătorului și de viteza cu care obiectul a fost aruncat. Greutatea de 7,257 kg, de exemplu, este împinsă din mînă la o înălțime de 2 m deasupra pămîntului, cu o viteză aproximativ de 11 m/s. Viteza fiind relativ redusă, greutatea întîlnește foarte puțină rezistență din partea aerului, ceea ce face ca traiectoria ei să fie o parabolă aproape perfectă. Aplicînd una din formulele obișnuite pentru determinarea parabolei aruncării, în raport cu datele de mai sus, și încercînd diferite valori pentru unghiul de aruncare, pentru a vedea care valoare corespunde celei mai mari distanțe de aruncare, se constată că unghiul cel mai favorabil este de 40°. În formula folosită pentru determinarea parabolei aruncării se include și accelerația forței gravitației, care are o valoare medie de 9,81. Valoarea accelerației forței gravitației variază pentru diferitele puncte ale globului, la Ecuator fiind de 9,78, iar înspre Polul Nord de 9,82. Lungimea unei aruncări și, în mai puțină măsură, chiar lungimea unei sărituri sînt dependente deci și de valoarea accelerației gravitației. Dacă un aruncător cu discul realizează 54,23 m la Ecuator, aceeași aruncare în Suedia, de exemplu, nu măsoară decît 54,05 m.

CONCLUZII METODOLOGICE

Forța apare ca o calitate biomotrică strîns legată de specificul fiecărui exercițiu fizic, ea manifestîndu-se în cadrul unor acțiuni sau faze diferite. Ea participă la lungimea traiectoriei aparatelor în diversele aruncări (greutate, ciocan, suliță, disc, minge etc.), lungimea traiectoriei centrului de greutate principal al corpului în sărituri, mărirea frecvenței pașilor în alergări și mărirea frecvenței ciclurilor de mișcare la înot, canotaj, schi și ciclism.

Structura exercițiilor fizice concepute cu scopul măririi acestei calități ; forța trebuie să corespundă cu structura procedeelor tehnice specifice ramurii de sport respective.

Se pot folosi astfel, fie exerciţii bazate pe contracţii musculare izotonice, fie exerciţii îngreuiate cu haltere sau alte aparate (rezistenţa periferică crescînd în mod gradat, începînd de la un procent cuprins între 60—70% şi ajungînd pînă la un procent de 90% din capacitatea maximă a sportivului respectiv), fie exerciţii bazate pe contracţii musculare izometrice.

Ultima categorie de exerciţii se efectuează în condiţiile unei rezistenţe periferice crescute, cu mărirea timpului de menţinere a tensiunii musculare şi reprezintă un real progres pentru tehnica şi metodica dezvoltării forţei.

BIBLIOGRAFIE

AMAR J. **Le moteur humain.** Paris, Dunod, 1923.

BACIU, CL. **Semiologia aparatului locomotor.** Bucureşti, Editura medicală, 1975.

BACIU CL. (în colaborare cu Z. GIURCULESCU, D. CRISTEA, C. CONSTANTINESCU şi ŞT. COSTEA) **Programe de gimnastică medicală (Kinetoterapie post-operatorie).** Bucureşti, Editura Stadion, 1974.

BACIU CL., ROBĂNESCU N. şi ALEXANDRESCU TH. **Mic dicţionar medico-sportiv.** Bucureşti, Editura Stadion, 1971.

BACIU CL. **Curs de anatomie funcţională şi biomecanică.** Institutul Pedagogic. Facultatea de Educaţie Fizică, vol. I, II şi III, Bucureşti, 1967.

BACIU CL. **Biologia locomoţiei umane.** În: Educaţie fizică şi sport, 22, nr. 1 şi nr. 2, 1969.

BACIU CL. **Anatomia, fiziologia şi biomecanica, ştiinţe care stau la baza tehnicii atletice.** În: Sportul Popular, 4, nr. 1, 1948.

BĂRBULESCU N. **Curs de fizică medicală.** Cluj, 1936.

BARTOL CL. **L'homme s'est dressé d'un seul coup il y a 30 millions d'années.** Din: Science et Vie. Paris, 1967, **112**, 599, 30—37.

BARNIER L. **L'analyse des mouvements.** Vol. I şi II, Paris, Presses Universitaires de France, 1956.

BERNSTEIN W. **Untersuchungen der Byodynamik der Lokomotion.** Inst. Expert. Med. Soviet. Union, 1955.

BOYGEY M. **L'entraînement. Bases physiologiques,** Paris, Masson, 1942.

BORELLI. **De motu animalium,** 1682.

BRIEND J. **La rééducation fonctionnelle musculo-articulaire.** Paris, Vigot Freres, 1956.

DELMAS A. **Les processus de l'hominisation.** Paris, Editions du C.N.R.S., 1967

DEMENY G. **Mécanique et éducation des mouvements.** Paris, Bibl. Sc. Internationale Alcan, 1905.

DONSKOI D. D. **Biomecanica exerciţiilor fizice.** Bucureşti, Editura Tineretului — C.F.S., 1959.

DUCHENNE DE BOULOGNE. **Physiologie des mouvements.** Paris, Balliers, 1887.

FALLER. **Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion.** Stuttgart, 1967.

FICK R. **Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke.** Jena, Gustav Fischer, 1910.

FORNI I, CAPPELINI O. **Compendio di mecanica articolare.** Bologna, Ediz. Rizzoli, 1965.

FRANCESCHINI P. **Fisiopatologia delle articolazioni.** Firenze, Ediz. Scientif, Sansoni, 1964.
FRESCOLN L. D. **Range of bodily Movements.** New York, Medical Times, 1929.
GARNER F. F. **Biomechanical Studies of the Musculo-skeletal** Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, 1961.
GHEȚIE I, PASTEA E, RIGA I. **Atlas de anatomie comparată.** București, Editura Agrosilvică, 1954.
GOVAERTS A. **La Biomécanique. Nouvelle méthode d'analyse du mouvement.** Presses Universitaires de Bruxelles, 1962.
GRAY Y. **Anatomie descriptivă și aplicată.** trad. De Gr. Popa, București, 1944.
IAGNOV Z., REPCIUC E. și RUSSU G. **Anatomia omului. Aparatul locomotor.** București, Editura medicală, 1962.
ILIESCU A. **Manual de anatomie funcțională și biomecanica exercițiilor fizice.** Curs I.C.F. București, 1964.
IVANȚKI M. I. **Noile metode de studiu ale mobilității corpului uman.** Din : Noile metode și tehnica cercetărilor morfologice. Moscova, 1959.
KAPANDJI I. A. **Physiologie articulaire** (Schémas commentés de mécanique humaine). Paris, Maloine, 1965.
KAPANDJI I. A. **Schémas commentés de mécanique articulaire.** Paris, La presse Médicale, 1966.
KOTEKOVA E. A. **Biomecanica exercițiilor fizice.** Moscova, 1939.
LANZ V. T. și WACHSMUTH W. **Praktische Anatomie.** Meidelberg. Springer Verlag. 1955.
MAREY E. J. **Le mouvement,** Paris, Ed. Scientifique, 1894.
MAREY E. J. **La machine animale.** Bibl. Scientifique Internationale Alcan, 1873.
MAREY E. J. **La chronophotographie.** In : Revue Générale des Sciences, an. II, nr. 21, 15, nov. 1891.
MAREY E. J., CARLET. **Sur la locomotion humaine.** Paris, 1872.
MAREY E. J., DEMENY. **Etude expérimentale de la locomotion humaine.** Paris, C. R. Acad. des Sciences, 3 oct., 1887.
MEYER H. (von) **Statik und Mechanik des menschlichen Knochengenustes.** Leipzig, Verlag Engelmann, 1873.
NEMESSURI M. **Funktionelle Sportanatomie.** Berlin, Sportverlag, 1963.
OLIVIER G, OLIVIER CH. **Mécanique articulaire.** Paris, Vigot Freres, 1963.
PAPILIAN V. **Tratat elementar de anatomie descriptivă și topografică,** Sibiu, 1943.
RĂDULESCU AL., BACIU CL., ROBĂNESCU N. ș.a. **Probleme de patologie a osului.** București, Editura medicală, 1955.
RĂDULESCU AL., RĂDULESCU ALICE și BACIU CL. **Ortopedia chirurgicală.** Vol. I, București, Editura medicală, 1956.
RAINER F. J. **La structure fonctionnelle.** In : Monitorul Oficial, Imprimeriile Statului, București, 1945.
RAINER F. **L'oeuvre scientifique,** vol. I și II, Imprimeria Națională, București, 1945.
RANGA V., ZAHARIA C., PANAITESCU V. și ISPAS A. **Anatomia omului.** Vol. I și IV. Institutul de Medicină și Farmacie., Facultatea de medicină generală, Catedra de Anatomie, București, 1975.
REPCIUC E. **Anatomie descriptivă.** București, Editura de Stat, 1951.
RICHER P. **Physiologie artistique de l'homme en mouvement.** Paris, 1895.

RIGA TH. I. **La structure fonctionnelle dans la pathologie de l'appareil locomoteur.** În : Revista de chirurgie, Bucureşti, 1940.
ROBĂNESCU N. **Reeducarea neuro-motorie,** Bucureşti, Editura medicală, 1968.
ROBĂNESCU N. **Readaptarea copilului handicapat fizic.** Bucureşti, Editura medicală, 1976.
ROCHER CH., RIGAUD A. **Fonctions et bilans articulaires.** Paris, Masson, 1974.
ROGER H. **Eléments de psycho-physiologie.** Paris, Masson, 1946.
ROUD A. **Mecanique des articulations et des muscles de l'homme.** Lausanne, Librairie de l'Université, 1913.
ROUX W. **Entwicklungsmechanik der Organismen.** Verlag Engelmann, 1895.
SCOTT G. **Analysis of Human Motion.** New York, Appleton Century, 1942.
SCHUPPE H. **Physik der Leibensübüngen.** Stuttgart, Eine Grundlegung. Ferdinand Enke Verlag, 1941.
SPEYER B. **Roentgencinematographie 16 mm film.** Bruxelles, Journ. Belge de Radiologie, 43, 1, 1960.
STEINDLER **Kinesiology of the Human Body.** C. C. Thomas, Springfield, 1955.
STRASSER H. **Lehrbuch der Muskel und Gelenkmechanik,** Berlin, Julius Springer, 1908.
TECHEVEYRÉS E. **Histoire naturelle de la vie,** Paris, Flammarion, 1946.
TELEKI N. **Principiile şi metodologia terapiei de recuperare în afecţiunile posttraumatice.** (Îndreptar metodologic de balneofizioterapie şi recuperare). Bucureşti, Editura medicală, 1972.
TESTUT L., LATARJET A. **Traité d'anatomie humaine.** G. Doin, Paris, 1928.
TITTEL K. **Beschreibende und funktionelle Anatomie humaine des Menschen,** Jena, Veb Gustav Fischer Verlag, 1962.
WELLS K. F. **Kinesiology,** Philadelphia, Saunders comp., 1950 şi 1963.
WILLIAMS M. **Biomechanics of Human Motion.** Philadelphia, and London, W. B. Saunders, comp., 1962.

CARACTERISTICILE MORFO-FUNCŢIONALE ALE OSULUI-ORGAN

BACIU CL. **Formarea calusului şi mijloacele de stimulare ale regenerării ţesutului osos.** Teză de doctorat în ştiinţe medicale I.P.S.M.F., Bucureşti, 1958.
BORDIER PH. J. **Aspects histologiques du remaniement osseux,** Bâle, Triangle Sandoz, 12, 3, 1973.
BRIGHT R. W., BURSTEIN A. H., ELMORE S. M. **Epihyseal plate cartilage.** Journ. Bone and Joint Surgery, 56-A, 4, 1974.
COOPER R. R., MILGRAM J. W., ROBINSON R. A. **Morphology of the osteon,** Journ. Bone and Joint Surgery, 48-A, 7, 1966.
MOFFA A. **Orthopädische Chirurgie. (Diformităţi dobîndite prin factori mecanici).** Stuttgart, 1920.
JOWSAY J. **Evaluation microradiographique de la structure de l'os.** Bâle, Triangle, Sandoz, 1973, 12, 3.
KUMMER B. **Funktioneller Bau und Funktionelle Anpassung des Knochens,** Anat. Anz., 1962, 111.
KUMMER B. **Phoelastic studies on the functional structura of bone** Leiden, Folia Biotheoretics, 1966, 6.

MILLER M. R., KASAHARA M. **Observations on the Inervation of Human Long Bones.** Anat. Rec., 1963.
RASMUSSEN H. **Regulation hormonale de la fonction de la cellule osseuse.** Bâle, Triangle, Sandoz, **12**, 3, 1973.
RĂDULESCU AL., NICULESCU GH. şi CIUNGUDEAN C. **Transplantări şi grefe osoase şi cartilaginoase.** Bucureşti, Edtiura Acad. R.S.R., 1975.
RĂDULESCU AL., BACIU CL. **Osificarea** (Probleme de patologie a osului.) Bucureşti, Editura medicală, 1955.
WOLFF J. **Das Gesetz der Transformation der Knochen,** Berlin, Verlag Hirschealdt, 1892.

CARACTERISTICILE MORFO-FUNCŢIONALE ALE ARTICULAŢIILOR

BARNETT CH. **Wear and tear on joints and experimental study.** Journ. of Bone and Joint Surgery, **38-B, 2**, 1956.
CHVAPI M. **Fiziologia ligamentelor.** Praga, Csl. Fysiol, 1961.
DIETENFASS. **Lubrification of the synoviales articularions.** Journ. of Bone and Joint Surgery, **45-A**, 6, 1963.
EKHOLM R. N. **On the relationschip between articular changes and function.** Scandinavica, Acta Orthop, **21**, 1951.
GARDNER E. D. **Physiology of Blood and Nerv Supply of Joints.** Bulletin of the Hospital for Joint Diseases, Baltimore, 1, 1954.
JEBENS E. H. MINK. J. **The viscosity and the pH of the synovial fluid.** Journ. of Bone and Joint Surgery, **41-B**, 2, 1939.
LAURENCE G. **Trecere în revistă a noţiunilor generale de anatomie şi fiziologie ale articulaţiilor.** În : Revue du praticien, Paris, 13, 31, 3, 1963.
LAURENCE G. **Notions sur la naissance, la vie, le travail et l'usure d'une articulation normale.** În : Revue du praticien, Paris, 9, 1961.
LINN F. C. **Lubrification of animal joints.** J. Biomech, **1**, 1, 1968.
MAROUDAS, BULLOUGH, SWANSON, FREEMAN. **The permeability of articular cartilage.** Journ. of Bone and Joint Surgery, **50-B**, 1, 1968.
MC. CUTCHEN C. W. **Mechanism of animal joints.** Nature, **184**, 1959.
RADIN E. L., PAULL, L. **A consolidated concept in joint lubrification.** Journ. Bone and Joint Surgery, **54-A**, 1972.
RĂDULESCU AL., BACIU CL. **Fiziopatologia articulaţiilor.** (Probleme de patologie a osului. Bucureşti, Editura medicală, 1955.
RINONAPOLI S. **Contribution à l'étude histochimique de la synoviale humaine, normale et pathologique.** Arhivio Putti, **10**, 1958.
SEDEL L. **La lubrification articulaire.** În : Revue Chir. orthop., Paris, **62**, 3, 1976.
TOMESCU, D. **Date hidrodinamice şi cercetări biochimice a lichidului sinovial la nivelul genunchiului traumatic.** (Notă preliminară la teza de doctorat în medicină), Bucureşti, 1970.
WHITE R. K. **Rhologie of the synovial fluid.** Journ. Bone and Joint Surgery, **45-A**, 5, 1963.
WALKER P. S. şi colab. **Behavior of synovial fluid on surfaces of articular cartilage.** Ann. Rheum. Dis. **28**, 1—14, 1969.

CARACTERISTICILE MORFO-FUNCŢIONALE ALE MUŞCHIULUI

BASMAGIAN J. V. **Muscles Alive : Their functions revealed by Electromyography.** Williams and Wilkins Co. Baltimore, 1962.

BATTISTA. E. **Sports et musculation** Bornemann, Paris, 1971.
DUCHENNE G. B. **Physiology of motion demonstrated by means of electrical stimulation and clinical observations and applied to the study of paralysis and deformities.** Philadelphia, J. B. Lippincott Co., 1949.
MARINESCU G. şi colab. **Le tonus musculaire,** Paris, Editure Masson, 1973.

BAZELE MORFO-FUNCŢIONALE ALE LOCOMOŢIEI

BACIU CL. **Efortul fizic în epoca de creştere.** În : Revista Sport, Bucureşti, 2, 9—10, 1949.
BACIU CL. **Principii generale de anatomie funcţională şi biomecanică.** În : Cultură fizică şi sport, Bucureşti, **20**, 3, 1967.
BACIU CL. **Curs de anatomie.** (vol. III, Sistemul nervos). Institutul pedagogic, Bucureşti, 1970.
BACIU CL., DEMETER A. **Anatomia şi fiziologia sistemului nervos cu aplicare la educaţia fizică.** Bucureşti, Editura Stadion, 1970.
BACIU CL. **Tehnica şi valoarea goniometriei.** În : Educaţie fizică şi sport, Bucureşti, **23**, 6 şi 7, 1970.
BECKER-FREYSENG H. **Mensh und Höhe.** Documenta Geigy, 1956, 1. 62.
BULEY L. E., SPELINA J. **Physiological and psychological factors in the dark night takeoff accident.** Aerospace Medicine, 41, 1970.
CRIŞAN C. **Organele de simţ sau analizorii** (Histologia, Vol. II, Bucureşti, Editura medicală, 1955.
DANN W. **Die Perimetrie der Gelenke.** Schweizerische Medizin, Wocheschrift, 1928.
FRITZSCHE E. **Zur Perimetrie der Gelenke.** Münchener Medizinische Wochenschrift, 1911.
GLANVILLE A. D., KREEZER G. **The maximum amplitude and velocity of joint movements in normal male adults human.** Human Biology 9, 1, 1937.
IVANŢKI M. I. **Noile metode de studiu ale mobilităţii corpului omenesc.** (Din noile metode şi tehnica studiului morfologiei). Moscova, 1958.
KREFFT S. **Sicherchiert beim Fliegen aus flug-medizinischer Sicht** Folia traumatologica Geigy. Basle, 1974.
KREINDLER A. **Neurologia.** Editura medicală, Bucureşti, 1951.
LACERT PH. şi colab. **Les systèmes qui contrôlent le mouvement. Influences descendentes sur la boucle gamma.** La Presse Médicale, Paris. 74, 34, 1966.
LAVERNHE J. **Wirkungen den Zeitver schiebung in der Luftahrt auf das Flugpersonal.** Münch. Mediz. Wschrift, **112**, 1, 1970.
NICULESCU I. T. **Sistemul nervos** (Histologia, vol. II, Bucureşti, Editura medicală, 1955.
PAPILIAN V. **Nevrologia.** Cluj, Editura Cartea Românească, 1942.
PIEROT-DESEILLIGNY E., LACERT PH., CHAIN F şi CATHALA M.P. **Les systèmes qui contrôlent le mouvement. La boucle gamma et le contrôle segmentaire du tonus musculaire.** La Presse Médicale, Paris, 74, 33, 1966.
RALSTON H. J., MILLER M. R., KASAHARA M. **Nerve Endinge in Human, Tendons, Ligaments. Periosteum and Joint Sinovial Membrane,** Anat. Rec., 1960.
SECENOV M. I. **Fiziologhii nervnoi sistemî,** 1886.

SMITH J. W., CONWAY H. **La dynamique du glissement des tendons normaux.** În : Revue de Chir. Orthop., Paris, **52**, 3, 1966.

TEODORESCU V. **Curs de schi,** Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1964.

VANHOORNEWEDER A. **La sophrologie du practicien.** Paris, J. Prelat, 1976.

WOODBURY J. W., RUCH TH. **Muscle Contraction,** Medical Physiologie and Biophysic. red. Ruch şi Fulton, Saunders, 1960.

CAP

LEWIT K., KRAUSOVA I., UNEIDLOVA D. **Mechanismus in den Kopftgelenken bei passiven Bewegungen.** Stuttgart, Z-schrift für Orthop. **103, 3**, 1967.

COLOANA VERTEBRALA

ALLBROOK D. **Movements of the lumbar spinal column.** Journ. Bone and Joint Surgery, **39-B,** 1957.

APPLETON A. B. **Posture,** Practioner. **156,** 1946.

ASMUSSEN E., KLAUSEN K. **Form and function of the erect human spins.** Clinical Orthopaedics, 1962.

ASMUSSEN E., **The weight-carrying function of the human spins.** Scandinavica, Acta Orthop, **29,** 1960.

BAGNÉRES H. **Renseignements apportés par la radiographie du rahis chez les candidats à professorat d'éducation physique.** Cinesiologie, **3,** 1964.

BAKKE **Röntgenologische Beobachtungen üer die Bewegungen der Wirbelsäule.** Stockholm, Acta Radiologica, Suppl. XIII, 1931.

BARTELNIK D. L. **The role of abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral discs.** Journ. Bone and Joint Surgery, **39-B,** 1957.

BONNE A. J. **On the shape of the human vertebral column.** Bruxelles, Acta Orthop., **35, 3—4, 1969.**

DAVIS P. R., TROUP J. D. G. BURNARD. **Movements of the thoracic and lumbar spine when lifting : A chrono-cyclo photographic study.** Londra, Journ, Anatomy, **99,** 1965.

DE DONCKER E., DELCHEF J. **Les lombalgies et les lombosciatologies.** Bruxelles, Acta Orthop., **35, 1,** 1969.

DE LUCCHI G. **Azione del musculo grande psoas sulla colonna vertebrale.** Bologna, Chir. degli Organi di Movimento, 36, 1951.

DIACONESCU M., VELEANU C. **Contribuţii la studiul morfo-funcţional al coloanei vertebrale toracale.** În : Revista Timişoara medicală, **11,** 2, 1966.

ELLENBERGER W., BAUM H. **Handburch der vergleichenden Anatomie der Haustiere,** Berlin, 1943.

FRANÇOIS R. J. **Le Rachis dans la spondylarthrite ankylosante.** Bruxelles, Editions Arscia S.A., 1976.

GUERRINI J. F. **Actividad muscular en la mecanica de la columna dorso-lombar.** Bol. Soc. Argent. Ortop. Traumat., **31,** 1966.

HAPPLEY F. şi colab. **The human intervertebral discs.** Londra, Nature. **175,** 1955.

HIRSCH C. **The reaction of intervertebral disc to compression forces.** Journ. Bone and Joint Surg. **37-A, 1955.**

IANCU I. **Structure du ligament vertébral commun antérieur. Travaux d'Anatomie à la mémoire de F. Rainer.** Imprimeria Națională, București, 1947.

JONCK L. M. **The influence of weight-bearing on the lummbar spine.** South Africa Journ. Radiology, **2**, 1964.

KAPANDJI I. A. **L'anatomie fonctionnelle du rachis lombosacré.** Bruxelles, Acta Orthop., **35, 3—4**, 1969.

KLAUSEN K. **The form and function od the loaded human spine.** Scandinavica, Acta Physiol, **65**, 1965.

LACAPÈRE J. **Remarques sur les articulations des corps vertébraux et la signification du terme amphiarthroses.** În : Revue du Rhumatisme, Paris, **9**, 1951.

LAURENCE G. **Anatomo-physiologie de la colonne lombosacré.** În : Revue du Praticien, Paris, **5**, 1955.

LEONARDI A. și colab. **Le protrusioni posteriori del disco intervertebrale.** 51-a Congr. Soc. Ital. Ortop. Traum., 1968.

MARKOLF K. L., MORRIS J. M. **The structural components of the intervertebral disc.** Journ. Bone and Joint Surgery, **56-A, 4**, 1974.

MICHELE A. A. **Ileopsoas.** C. C. Thomas, Springfield, 1963.

MINEIRO J. D. **Coluna vertebral humana.** (Teză doctorat, Facultatea de medicină), Lisabona, 1965.

MORRIS J. M., Benner G., LUCAS D. B. **An Electromyographic Study of the Intrinsec Muscles of the Back in Man.** Journ. of Anatomie, 96, 1962.

MORRIS J. M., LUCAS D. B., BRESLER B. **Role of the Trunk in Stability of the Spine.** Journ. of Bone and Joint Surgery, **43-A**, 1961.

NACHEMSON A. **Lumbar intra-discal pressure.** Scandinavica, Acta Orthop, Suppl. **43**, 1960.

PETIT-DUTAILLIS D., Séze S (de). **Physiologie. Rôle du noyau gélatineux central (Sciatique et lombalgies par hernie postérieure des disques intervertebraux.** Paris, Editure Masson, 1945.

ROBLES M. D., AGRADE S. V. **Développement du disque et discographie normale.** În : Revue Chir. Orthop., Paris, **60**, 1974.

SEDIN N. S. **Tehnica de determinare a mobilității coloanei vertebrale.** În Revista Hirurgia, Moskva, **4**, 1954.

SÉZE S (de) și colab. **Reîmprospătarea cunoștințelor de anatomie, fiziologie și radiologie asupra rahisului cervical.** Paris, La Presse Médicale, **14**, 26, **3**, 1964.

SNIJDERS JR. CH. J. **On the form of the human spine and some aspects of its mechanical behaviour.** Bruxelles, Acta Orthop, **35, 3**, 3—4, 1969.

STAFFEL F. **Die menschlichen Haltungstypen und ihre Beziehungen zu den rückgratsverkrümmungen.** Wiesbaden, 1889.

THÉVENOZ F. **Zur Prophylaxe der Diskopathie.** Documenta Geigy. Folia Rheumatologica, 1976.

ZAȚEPIN T. S. **Ortopedia infantilă,** București, Editura de stat pentru literatură științifică, București, 1952.

CENTURA SCAPULARĂ

DUMAS și RENAULT. **Entorses et luxations acromio-claviculaire.** În : Revue du Praticien, Paris, **12**, 19, 1962.

COMTET J. J. **Anatomo-physiologie et mécanique de l'épaule Cinese.** Paris, 4, 3—9, 1967.
COMTET J. J., AUFFRAY Y. **Physiologie des muscles élévateurs de l'épaule** . În : Revue de Chir. Orthop., Paris, 56, 2, 1970.
HIDVEGI E. **Contribuţiuni la problema anatomiei funcţionale a articulaţiei umărului.** Budapest, Kiserletes Orvostuiomany, 2, 1954.
INMANN V. T., SAUNDER S. M., LERBY C., ABBIOT. **Observations on the function of the shoulder joint.** Journ, of Bone and Joint Surgery, 26, 1—29, 1944.
JOHNSON T. E. **The mouvements of the shoulder-joint, a plea for use of the „plane of the capsula as a plane of reference for mouvements occuring at the humero-scapular joint.** Londra, British Journ. of Surgery, 25, 1937.
LATARJET E., BOUCHET A. **Considérations sur le mouvement d'élévation du bras à la vérticale.** Bulletin de l'Assoc. des Anatomistes, Paris, 1963.
PIZON P. **Ostéomtétrie scapulo-humérale.** La Presse Médicale, Paris, 40, 1, 1959.
VAN LINGE B., NULDER F. D. **Fonction of the supra-spinatus muscle and its relation to the supraspinatus syndrome.** Journ. of Bone and Joint Surgery, 45-B, 1963.
WEISSENBACH R. J., PIZON P. **Morphologie de l'épaule et périarthrite scapulo-humérale.** În : Revue du Rhumatisme, Paris, 18, 9, 1951.

COTUL

HARBAUER G. **Contribuţie la statistica unghiului brahial şi observaţii asupra mecanicii articulaţiei cotului.** Anat. Anzeinger, 1905, 10—16, 1958.

ANTEBRAŢUL

ANDERSON R. J. **Notation of the forearm.** Lancet, 2, 1, 1901.
BACIU CL., BROŞTEANU G., FÜLOP A. şi CHICU-ISAC E. **Les fractures de la tête radial chez l'adult.** Bruxelles, Acta Orthop. 30, 4, 1964.
BILLET M. **Les fractures diaphysaires des deux os de l'avantbras.** În : Revue Orthop., Paris, 25, 1938.
BRAUNE W., FLUGEL A. **Uber Pronation und Supination des menschlichen Verderarme und der Hand.** Arch. Anat. Entyicklunge, 8, 1882.
BUNNEL S., HOWARD L. D. **Control of forearm rotation by a Kirschner wire.** Journ. Bone and Joint Surgery, 30-A, 1948.
BURMAN M. **Primary torsional fracture of the radius or ulna.** Journ of Bone Joint Surgery, 35-A, 1951.
CASINI M., FRANCONE A. **Studio roentgencinematografica del movimento articolari del polzo.** Orizz. Ortop. Riabilitazione, 9, 1964.
DARCUS H. D. **The maximum torques developed in pronation and supination of the right hand.** Journ. Anatomy, Londra, 1951.
DARCUS H. D., SALTER N. **The amplitude of pronation and supination with the elbow flaxed to a right angle.** Journ. Anatomy, Londra, 1953.

DE LA GARMA L., CIMARRA N. şi LANDREDA M. **Fracturas diafisarias del antebrazo.** În : X Congr. nacional Soc. Español Ortopedia Traumatologia. Sevilla, 30 sept—3 oct. 1964.

DWIGHT T. **The movements of the ulna in rotation of the forearm.** În : Journal Anatomy Physiologie, 19, 1884.

FANG H. C., KU Y. W., SHANG T. Y. **The integration of modern and traditional chinese medicina in the treatment of fractures : a simple method of treatment for fractures of the shafts of both forearm bonse.** În : Chinese Medical Journal, 1963.

FRANCI G. A., RANDELLI G. **Le fratture izolate della diafisi del radio.** În : Archivio di Ortopedia, 1963.

KISSELBACH A. **Die verschidenen Formen der Umsendunbewegungen und Vorhalten der Supinatoren und Pronatoren am Unterrarm bei Drehungen um frei Umwenachsen.** În : Verh. Anat. Geselschaft Erg. Heft. Anat. Anz., 1952.

LANGENHAGER K. **Neue Vorstellungen über die Pro-und Supinationssachse des Voderarmes.** În : Schweizerische Medizin Wochenschrift, 24, 1944.

LUTZ J. **Perigraphic der Umsendbewegunge des Vorderarmes.** În : Anat. Anz., 1958.

MIR-KASIMOV A. M. **Asupra problemei modificărilor ligamentului interosos în mişcările de rotaţie şi asupra rolului acestuia în funcţia antebraţului.** În : Ortopedia, Travmatologhia i Protezirovanie, Moskva, 23, 28, 1962.

MONTI M., STRUGLIA L. **Un metodo pratica la misurazione dei movimenti di pronazione e supinazione dell'avambracio e considerazioni di ordine cinematica.** În : Folia Medic. 46, 1963.

MONTICELLI G., PERUGIA L. şi TUCCI R. **Le fratture recenti dell'antibraccio.** În : 50 Congresso della Societa Italiana di Ortopedia e Traumatologia, Roma, 25—27 oct. 1965.

PRANZACCHIO G. **Lo spazio interosico delle varie pozizioni di rotazione dell'avambraccio.** În : Archivio di Ortopedia, 20, 1903.

PAPARELLA-TRECCIA R. **Le fratture di antibraccio.** În : Ortopedia i Traumatologia Appar. Motor, 14, 1946.

PATRIK J. **Study of Supination and Pronation with Special Reference to the Treatment of Forearm Factures.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, 28, 1946.

RAY R. D., JOHNSON R. J., şi JAMESON R. N. **Rotation of the forearm. An experimental study of pronation and supination.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, 33-A, 1951.

ROSE-INES A. P. **Anterior Dislocation of the Ulna et the Inferior Radio-ulnar Joint, Case Raport with a Discussion of the Anatomy of Rotation of the Forearm.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, 42-B, 1960.

SALTER N. şi DARCUS R. D. **The Amplitude of Forearm and Humeral Rotation.** În : Journ. Anatomy, 87, 1953.

TREVISI M. şi SCIASIA R. **I movimenti dell'ulna nell'articolazione omero-ulnare : studiati col metodo stereoscopico della roentgenfotogrammetria.** În : Chirurgia degli Organi di Movimento, Bologna, 51, 1953.

ALEXANDER J. H. **Abord electromyographique de certains muscles de la main.** Société Anatomique de Paris, 23 mai 1969.

ALNOT J. Y., DUPARC J. **L'anatomie fonctionnelle de l'appareil fléchisseur du doigt.** (Din : Plaies recentes des deux tendons flèchisseurs du doigt). În : Revue Chir. Orthop., Paris, 60, 7, 1974.

BACIU CL., OLARU I., TUDOR AL., şi DOROBANŢU ŞT. **Le Syndrom Lumbrical Plus.** În : Revue Chir. Orthop., Paris, **61**, 2, 1975.

BACIU CL., PANAIT GH. şi PETREANU I. **Two Methode of Investigation in Affections of the Hands.** În : Clinical Med., Northfield Illinois, U.S.A., **73**, 10, 4, 1, 1966.

BACIU CL., POPOVICI N. **Diagnosticul diferenţial al unor afecţiuni ale miinii.** În : Revista Spitalul, Bucureşti, 77, 4, 1964.

BACKHOUSE K. M. **Symposium on the Extension of the Fingers.** Second Hand Club, Paris meeting, mai 1962.

BACKHOUSE K. M. şi CATTON W. T. **An Experimental Study of the Function of the Dumbrical Muscles in the Human Hand.** În : Journal Anatomy, 1954.

BAUMANN J. A. şi PATRY G. **Observations microscopiques sur la texture fibreuse et la vascularisation de l'ensemble tendineux extenseur du doigt de la main chez l'homme.** În : Revue Méd. Suisse Rom., **63**, 1943.

DUENSING F. **Uber die Weikungsweise des Extensor digitorum communis.** În : Deutsch. Ztschr. für Nervenh., **156**, 1944.

EBSKOV B. şi LONG CH. **A Method of Electromygraphic Kinesiology of the Thumb.** În : Archiv of Physical Medicine and Rehabilitation, **48**, 1967.

EBSKOV B. şi LONG CH. **Etude électromyographique et électrogoniometrique du pouce normal.** În : Le Journal de Kinésithérapie, 1968.

EYLER D. L. şi MARKEE J. E. **The Anatomy of the Intrinsic Musculature of the Fingers.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **36-A**, 1954.

FORREST W. J. şi BASMAJIAN J. V. **Function of Human Thener and Hypothenar Muscles.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **47-A**, 1965.

FOWLER S. B. **Extensor Apparatus of the Digitis.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **31-B**, 1949.

GOFF CH. W. **Comparative Antropology of Man's Hand.** În : Clinical Orthopaedics, 13, 1959.

HAINES R. W. **The Extensor Apparatus of the Finger.** În : Journ. Anat. **85**, 1951.

HAMONET CL. şi VALENTIN P. **Etude électromyographiques du rôle l'opposant du pouce et de l'adducteur du pouce.** În : Revue de Chir. Ortop., Paris, **58**, 2, 1970.

HAUCKE G. **Die Ruptur der Dorsalaponeurose am ersten Interphalangealgelenk, zugleich ein Beitrag zur Anatomie und Physiologie der Dorsalaponeurose.** În : Arch. Klin. Chir., **123**, 1923.

KAPLAN E. B. **Functional and Surgical Anatomy of the Hand,** Philadelphia, J. B. Lippincott, 1965.

KAPLAN E. B. **Anatomical Problemes of Opposition of the Thumb.** În : Bulletin of the Hospital for Joint Diseases, Baltimore, **15**, 1, 1954.

KEMPF I., GONZALO-VIVAR F. **Les formations fibro-aponeurotiques de la région métacarpo phalangienne.** Comptes rendus de l'Association des Anatomistes, 48-eme Reunion, 1963.

KOPSCH W. **Die Insertion der Muskel Lumbricales an der Hand des Menschen.** Intern. Monatschr, 1898.
KUNZEL E., FENEIS M. **Contribuţie experimentală la problema mişcărilor de abducţie a articulaţiei mîinii.** În : Anat. Anzeigen, **109**, 5, 1961.
LANDSMEER J. M. F. **Anatomy of the Dorsal Aponeurosia of the Human Finger and its Functional Significance.** În : Anat. Rec. **104**, 1949.
LANDSMEER J. M. F. **Anatomical and Functional Investigations on the Articulation of the Human Fingers.** În : Acta, anat. Suppl., 24, 25, 1955.
LANDSMEER J. M. F. **The Coordination of Finger-Joint Motions.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **45-A**, 1963.
LANDSMEER J. M. F., LONG CH. **The Mechanism of Finger Control based on Electromyograms and Location Analysis.** În : Acta, Anat., **60**, 1955.
LEGUEU L. şi JUVARA E. **Des aponévroses de la paume de la main.** În : Bull. Soc. Anat., Paris, 1892.
LITCHMANN H. M. şi PASLAY P. R. **Determination of Finger-Motion Impairement by Lineameasurement.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **56-A**, 1, 1974.
LITTLER J. W. **The Finger Extensor Mechanism.** În : Surg. Clin. North Amer., **47**, 2, 1967.
LITTLER J. W. şi ESTON R. G. **Redistribution of Forces in the Correction of the Boutonniere Deformity.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **49-A**, 7, 1967.
LONG CH. **Intrinsic-Extrinsic Muscle Control of Fingers.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **50-A**, 5, 1968.
LONG CH., şi BROWN M. E. **Electromyographic Kinesiology of the Hand.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **46-A**, 1964.
MAC FARLANE R. M. **Observation on the Functional Anatomy of the Intrinsic Muscles of the Thumb.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **44-A**, 6, 1962.
MONTANT R. şi BAUMANN A. **Recherches anatomiques sur le système tendineux extenseur des doigts de la main.** În : Ann. Anat. et Path., Paris, **14**, 1937.
MILLER M. R., RALSTON H. J. şi KASAHARA M. **The Pattern of Cutaneou Inervation of the Human Hand.** În : Amerc. Journ. of Anatomy, **102**, 1958.
RABISCHUNG P. **Anatomie fonctionnelle de l'opposition du pouce.** Groupe de l'Etude de la Main, 28 nov. 1964.
RABISCHUNG P. **L'innervation proprioceptive des muscles lombricaux de la main chez l'homme.** În : Rev. Chir. Orthop., Paris, **48**, 1962.
ROTCH. **Croissance et maturation osseuse.** S.E.M.P.E., 1909, Theraphix 76.
SALSBURY K. **Interosseus Muscles of the Hand.** În : Journ. Anat. **71**, 1937.
SMITH J. W. şi CONWAY. **La dynamique des tendons normaux et greffe.** În : Rev. Chir. Orthop., Paris, **52**, 2, 1966.
STACK G. **Muscle Function in the Fingers.** Journ. Bone and Joint Surgery, **44-B**, 4, 1962.

SUNDERLAND S. **The Actions of the Extensor Digitorum Communis, Interosseous and Lumbrical Muscles.** În : Amer. Journ. Anat., 77, 1945.
SWANSON A. B. **Evaluation of Impairement of Fonction in the Hand.** În : Surgery Clin. North. America, **44,** 1964.
TEODORIU T. și BORS P. **Chirurgia traumatismelor mîinii.** (Noțiuni practice de anatomie și de fiziologie a mîinii), București, Editura medicală, 1958.
THOMAS D. H. și LONG CH. **An Electrogoniometer for the Finger. A Kinesiologie Tracking Device.** În : Amer. Journ. Med. Electron, 3, 1964.
THOMAS D. H., LONG CH. **Biomechanical Considerations of Lumbrical Behavior in the Human Finger.** În : Amer. Biomech., 1968.
TUBIANA R., VALENTIN P. **The Anatomy of the Extensor Apparatus of the Fingers.** În : Surgery Clin. North, Amer. **44,** 4, 1964.
TUBIANA R. și VALENTIN P. **The physiology of the extension of the Fingers.** În : Surgery. Clin. North. Amerc., **1964, 44,** 4, 907—918.
TUBIANA R. și VALENTIN P. **Les déformations en bontonnière des doigts.** În : Rev. Chir. Orthop. Paris, 55, 2, 1969.
TUBIANA R. și VALENTIN P. **L'extension des doigts.** În : Rev. Chir. Orthop., Paris, **49,** 1963.
TUBIANA R. și VALENTIN P. **Opposition of the Thumb.** În : Surg. Clin. of North. Amer., **48,** 5, 1968.
VALENTIN P. **Contribution à l'étude anatomique, physiologique et clinique de l'appareil extenseur des doigts** Thèse. Paris, 1962.
VERDAN G. și RABISCHONG P. **Le traitement des plaies des tendons flectisseurs des doigts.** În : Rev. Chir. Orthop., Paris, 47,
WEATHERSBY H. T. **Electromyographic Studies of the Thenar Muscles.** În : Anat. Rev., 127, 1957.
WEATHERSBY H. T., SUTTON L. R. și KRUSEN U. L. **The kinesiology of muscles of the Thumb.** În : Arch. Phys. Med., **44,** 1963.
ZANCOLLI E. **Structural and Dynamic.** Bases of Hand Surgery. London Pitman Medical Publ. 1968.
BACIU CL. **Mișcarea de ridicare a brațelor prin lateral în sus. Studiu anatomo-biomecanic.** În : Educație fizică și sport, București, 24, 3, 1971.
KAPANDJI J. A. **Physiologie articulaire. Membre supérieur.** Paris, Librairie Maloine, 1966.

BAZINUL

BACIU CL. și SGARBURĂ I. **Probleme de biomecanică în fracturile bazinului.** Conferința Națională de Ortopedie, Iași, 1969.
BOEBEL R. **Ligament ilio-lombaire.** În : Zeitschrift für Orthopädie, **95,** 2, 1962.
GEORGESCU M., BACIU CL. și LUCA C. **Sarcina și discopatiile.** În : Neurologia, Psihiatria, Neurochirurgia, București, 7, 1960.
SUREAU CL. **Notions nouvelles sur l'anatomie et la physiologie de l'articulation sacro-iliaque.** Paris, La Presse Médicale, 23, 1951.
BROOKS W. **Muscle Action and the Shape of Femur.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **44-B,** 1962.
BUCHET C. **Contribution à l'étude mécanique de la hanche.** Paris, Maloine, 1965.

BASMAJIAN J. V. **Electromyography of the Iliopsoas.** În : Anat. Rec., 132, 1958.
FERRAND J., CHITOUR S. ş.a. **Aperçus bio-mécaniques et cinétiques sur les fractures sous-trohantériennes.** În : Rev. Chir. Orthop. Paris, 53, 7, 1967.
FOUCHET J. **A propos des mouvements de l'articulation coxofémurale.** În : La Semaine des Hôpitaux ,Paris, 1953.
INMAH V. T. **Functional Aspects of the Abductor Muscle of the Hip.** În : Journ. of Bone Joint Surgery, 29, 1947.
JOSEPH J., WILLIAMS P. L. **Electromyography of Certain Hip Muscles.** În : Journ. Anatomy, 91, 1957.
KEAGY R. D., BRUMLIKJ, BERGAN J. J. **Direct Electromyography of the psoas Major Muscle in Man.** În : Journ. Bone and Joint Surgery. 48-A, 7, 1966.
NICULESCU GH. **Bazele anatomiei biomecanice ale osteotomiei de corecţie în tratamentul chirurgical al coxartrozei.** În : Revista Sanitară Militară, Bucureşti, 76, 5, 1973.
OMBRÉDANNE L. **La Hanche prendant la station et pendant la marche.** Din : Ombrédanne L. et Mathieu P. : Traité de Chirurgie. Orthopédique, vol. IV, Paris, Masson, 1937.
RABISCHING P., AVRIL J. **Approche biomécanique du problème des ostéotomies fémurales.** În : Rev. Chir. Orthop. Paris, 53, 3, 1967.
SGARBURĂ I. **Osteotomiile varizante şi valgizante ale extremităţii proximale a femurului.** Teză doctorat în ştiinţe medicale. Bucureşti, 1968.

GENUNCHIUL

BACIU CL. **Biomecanica genunchiului.** În : Cultură fizică şi sport, Bucureşti, 17, 1, 1964 şi 17, 2, 1964.
BAUMGARTL F. **Das Kinegelenk.** Berlin, Spring Verlag, 1964.
BREWERTON D. A. **The Function of the Vastus Medialis Muscle.** În : Ann. Phys. Med., 2, 1955.
GODFELLOW J., HUNGERFORD D. S., ZINDEL M. **Patello Femorale Joint Mechanics and Pathology.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, 58-B, 3, 1967.
HALLEN L. G., LINDAHL O. **Rotation in the Knee-Joint in Experimental Finjury to the Ligaments.** În : Acta, Orthop. Scand., 37, 1966.
HALLEN L. G., LINDAHL O. **The Lateral Stability of the Knee-Joint.** În : Acta, Orthop. Scand., Copenhaga, 36, 1965.
HJÖRTSJÖ C. H. **Rörelsepparaten.** Gleerups Fölag Lund., 1959.
KENNEDY J. C., FOWLER P. J. **Medial and Anterior Instability of the Knee. An Anatomical and Clinical Study Using Stress Machines.** În : Journ. Bone and Joint Surgery. 56-A. 9, 1971.
LIEB F. J., PERRY J. **Quadriceps Function. An Electromyographic Study under Isometric Conditions.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, 53-A, 4, 1971.
LIEB F. J., PERRY J. **Quadriceps Function. An Anatomical and Mechanical Study Using Amputated Limbs.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, 50-A, 1968.
LINDAHL O., MWRIN A. **The Mecanism of Extension of the Knee-Joint.** În : Acta. Orthop. Scand. 38, 2, 1967.
MAQUET P., MARCHIN P. **Biomécanique du genou.** În : Rhumatologie, Paris, 16, 10, 1964.

POCOCK G. S. **Electromyographic. Study of the Quadriceps during Resistive Exercises.** În : Journ. Amer. Phys. Ther. Assoc. **43,** 1963.
RĂDULESCU AL. și BACIU CL. **Genunchiul,** București, Edit. Academiei R.P.R., 1965.
SLOCUM D. B., LARSEN R. L. **Rotatory Instability of the Knee. Its, Pathogenesis and a Clinical Test to Determine its Presence.** În : Journ. Bone and Joint Surgery. **50-A,** 3, 1968.
SMILLIE I. S. **The Quadriceps in Relation to Recovery from Injuries of the Knee.** În : Physiotherapy. **35,** 4, 1949.
WARREN L. F., MARSHAL J. L., GIRGIS F. **The Prime Static Stabilizer of the Medial Side of the Knee.** În : Journ. Bone and Joint Surgery. **56-A,** 4, 1974.
WIBERG. **Röentgenographic and Anatomic Studies on the Femoropatelar Joint.** În : Acta Orthop. Scandinavica, Copenhaga, **12,** 1941.

GAMBA

BACIU CL., TUDOR AL., și OLARU I. **Recurrent Luxation of the Superior Tibio-Fibular Joint in the Adult.** În : Acta Orthop. Scandinavica, Copenhaga, **45,** 6, 1974.
BACIU CL. și HATMANU D. **Unele aspecte particulare de biomecanică și fiziopatologie ale fracturilor de gambă.** În : Rev. Sanitară militară, București, 6—7, 1972.

GLEZNA ȘI PICIORUL

BACIU CL., ROVENȚA N., BRAZDĂ AL. **Os intermetatarsale.** În : Zeitschrift für Orthop. und ihre Grezgebiete. Stuttgart, **104,** 3, 1960.
BARNETT C. H. NAPIER J. R. **The Axis of Rotation to the Ankle Joint in Man. Its Influence upon the Form of the Talus and the Mobility of the Fibula.** În : Journ. Anat., **86,** 1, 1952.
BASMAJIAN J. V. STECKO G. **The Role of Muscle in Arch Support of the Foot. An Electromyographic Study.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **45-A,** 6, 1963.
CLOSE J. R. **Some Applications of the Functional Anatomy of the Ankle Joint.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **38-A,** 1956.
DENISCHI A., MEDREA O. și POPOVICI N. **Bolile piciorului.** București, Editura medicală, 1964.
HALL M. C. **The Trabecular Patterns of the Normal Foot.** În : Clinical Orthopaedics, Toronto, 16, 1960.
HOHMANN G. **Fuss und Bein. Ihre Erkrankungen und deren Behandlung.** München, 1939.
HONNART F. **Anatomie et physiologie de l'avantpied.** În : Rev. Chir. Orthop., Paris, **60,** Suppl. Nr. 11, 1974.
LUDU R. **Procedeu și aparat foto-planto-chimo-grafic.** Oficiul de Stat pentru Invenții nr. 48097. 1967.
LUDU R. și LUDU FL. **Aparat pentru investigarea anatomică și funcțională a piciorului.** Oficiul de Stat pentru Invenții, nr. 51270, 1968.
MANN R., INAMN V. T. **Phasic Activity of Intrinsic Muscles of the Foot.** În : Journ. Bone and Joint Surgery, **46-A,** 1964.
MARIN I. G. **Contribuții la studiul fracturilor pilonului tibial.** (Cap : „Biomecanica articulației talocrurale“). Teză doctorat în științe medicale. București, 1975.
MILCU ST. și WALTER E. **Conformația urmei plantare la alergătorii de fond, viteză, la săritori și aruncători.** În : Anal. Ed. Fiz., 15, 1937.
MILLER M R., KASAHARA M. **The Pattern of Cutaneous Inervation of the Human Foot.** În Amer. Journ. of Anatomie, 105, 1959.

PLIQUETT F., CERWENKA W. **Zum Abrollvorgang des Fusses.** In: Zeitschrift für Orthop., Stuttgart, 107, 3 ,1967.
RĂDULESCU AL. și ROBĂNESCU N. **Piciorul plat,** București, Edit. medicală, 1952.
SCHARF J. H. **Anatomia funcțională a gambei și piciorului.** In : Beitrage für Orthopedie und Traumat., 1963.
WRIGHT D. G., BENNELS D. C. **A Study of the Elastic Proproeties of Plantar Fascia.** In : Journ. Bone and Joint Surgery, 46-A, 1964.
WRIGHT D. G., DESAI S. M., HENDERSON U. H. **Action of the Subtalar and Anklejoint Complex During the Stance Phase of Walking.** In : Journ. Bone and Joint Surgery, 46-A, 1964.

MEMBRUL INFERIOR CA LANȚ CINEMATIC

BÖHLER L. **Der schädliche Einfluss von Achsenknickungen auf Gelenke des Beines.** In : Der Chirurg., 4, 1942.

POZIȚIILE SAU POSTURILE

BACIU CL. **Statica și mersul la omul normal și la omul bolnav.** In : Munca Sanitară, București, 4, 2, 1955.
BACIU CL. și BĂIAȘU N. **Studiul anatomic și biomecanic al pozițiilor principale din gimnastică.** Sesiunea de Comunicări organizată de Centrul de cercetări științifice al U.C.F.S. Timișoara, 25 mai 1967.
BACIU CL., BĂIAȘU N. **Studiul anatomic și biomecanic al pozițiilor de stînd și stînd pe mîini, folosite în gimnastică.** Sesiunea științifică a universității București, Secția Pedagogică, 13—16 octombrie 1967.
BARON J. B. **Présentation d'un appareil pour metre en évidence les déplacements du centre de gravité du corps dans le polygone de sustentation.** In : Arch. Mal. Professionelles, 25, 1964.
DE WITT G. **Analgysis of the Stabilographic Curves.** In : Agressologie, 13-C, 1972.
FUKUDA T. **Studies on Human Dynamic Postures from the Wievpoint of Postural Reflexes.** In : Acta Oto-Laryng, Suppl. 161, 1961.
GURFINKEL V. S. **Muscle Afferentation and Postural Control in Man.** In : Agressologie, 14-G, 1973.
KAPTEYN T. S. **Afterhought about the Physics and Mechanics of the Posturals Way.** In : Agressologie, 14-C, 1973.
LORD G., GENTAZ R., GAGEY P. M., BARON J. B. **Etude posturographique des prothèses totales du membre inférieur.** In : Rev. Chir. Orthop., Paris, 62, 3, 1976.
SONLAIRAC A., BARON J. B. **Etude statokinésimétrique de la régulation posturale chez l'homme.** In : Sem. Hopitaux, Paris, 43, 1967.
THIBAUT F. ș.a. **La statokinésimétrie, technique et résultats.** In : Rev. Neurologie, Paris, 114, 1966.
VELK-FAI G. **Analiysis of the Dynamical Behavior of the Body Whilst Standing Still.** In : Agressologie, 14-C, 1973.
VANDERVAEL F. **Analyse du mouvement du corp humain.** Liège. Ed. Descer, 1948.

DEPRINDERILE MOTORII COMPLEXE

ALEXEEV M. A., NAIDEL A. V. **Rapport entre les éléments volontaires et posturaux d'un acte moteur chez l'homme.** In : Agrossologie, 14-B, 1973.

BACIU CL. **Bazele morfo-funcţionale ale performanţelor atletice.** Caiet documentar de medicina culturii fizice, Bucureşti, 1955.
CALLAVREZO G. **Deprinderile motrice.** Curs de medicină sportivă, I.M.F., Bucureşti, 1950.
CAVAGNA G. A. **Analiza mecanicii locomoţiei.** Minerva, Medica, 1964.
FARFELL V. S. **Curs asupra fiziologiei omului.** Moskva, Fizkultura şi Sport, 1948.
GOVAERTS A. **La Biomécanique. Nouvelle méthode d'analyse du mouvement.** Presses Universitaires de Bruxelles, 1962.
KRESTOVNIKOV A. N. **Învăţătura despre activitatea nervoasă şi unele probleme ale fiziologiei exerciţiilor fizice.** Raport prezentat la plenara Consiliului ştiinţific metodic al Comitetului unional pentru Cultură Fizică şi Sport. 7 dec. 1950.

CALITĂŢILE BIOMOTRICE

BRAN E. **Calităţile psiho-fizice** Curs de atletism. I.C.F. Bucureşti, 1950.
BRATU I. **Exerciţii pentru dezvoltarea forţei sau creşterea sarcinii de efort.** Referat general. Manuscris. 1970.
CURETON TH. K. JR. **Physical Fitness and Dinamic Health.** The Dial Press, 1965.
DENISIUK L. **Metoda de apreciere a capacităţii motrice.** C.N.E.F.S. Sector documentare. Vol. II, 1968.
DRAGOMIR Z. **Dezvoltarea detentei în antrenamentul atletic.** Bucureşti, Editura C.N.E.F.S., 1958.
FLEISHMAN E. A. **The Structure and Measurement of Physical Fitness.** New York, Prentise Hall. Englewood, Cliffs, 1965.
FLORESCU C., DUMITRESCU V. şi PREDESCU A. **Despre metodica dezvoltării calităţilor fizice.** Ed. I., Bucureşti, Editura C.N.E.F.S., 1964 ; ed. a II-a revăzută, 1969.
FLORESCU G., DRAGOMIR Z. şi DUMITRESCU V. **Dezvoltaţi forţa şi viteza.** Bucureşti, Editura U.C.F.S., 1968.
GEORGESCU M. **Bazele anatomo-fiziologice ale calităţilor psihofizice.** În : Cultură Fizică şi Sport, 4, 4, 1964.
CURBICI S. **Copiii şi rezistenţa.** C.N.E.F.S. Sect. Documentare, Vol. IV, 1968.
HARALAMBIE GH. **Biochimie şi sport.** Bucureşti, Editura C.N.E.F.S. 1966.
HOLLMANN W. **Aspecte medico-sportive generale privind evoluţia capacităţii de efort a copiilor şi juniorilor.** C.N.E.F.S. Sect. Documentare, 1970.
IONESCU N. A., NICU A., şi MAZILU V. **Creşterea anatomo-funcţională a tinerilor corelată cu dezvoltarea calităţilor fizice.** Manif. Ştiinţific nr. 2 a Centrului de cercetare în problemele tineretului, Bucureşti, 1969.
JURINOVA I. **Unele observaţii cu privire la calităţile motrice ale copiilor.** Bucureşti, C.N.E.F.S. Sect. Documentare, vol. III.,
HIRSCH A. **Rezistenţa generală la copii şi juniori.** Bucureşti, C.N.E.F.S. Sect. Documentare, 1969.
KUZNEŢOVA I. Z. **Dezvoltarea calităţilor motrice ale elevilor.** Moscova, Editura Prosvecenie, 1967.
LUDU V. **Îndemînarea şi metodica dezvoltării ei.** Bucureşti, C.N.E.F S., 1969.

MOTILIANSKAIA E. P. ş.a. **Rezistenţa la tinerii sportivi.** Moscova, Fizkultura i sport, 1969.
NICU A., MAZILU V., FOCŞENEANU A. şi WILK E. **Potenţialul biotric al populaţiei şcolare din clasele V—VIII.** Bucureşti, C.N.E.F.S., 1970.
NOVIKOV A. D. **Educaţia Fizică (Cap. IV : Ce este calitatea psihofizică).** Leningrad, Fizkultura i Sport, 1949.
OZOLIN N. G. **Secretul forţei şi al rezistenţei.** Bucureşti, Edit. C.N.E.F.S., 1950.
OZOLIN N. G. **Educarea calităţilor morale şi de voinţă ale sportivului.** Bucureşti, Editura U.C.F.S., 1959.
VICIU E. **Fenomenul de detentă în viaţa sportivă.** In : Educaţie Fizică, Bucureşti, 11, 5, 1933.
ZAŢIORSKI V. M. **Calităţile fizice ale sportivului.** Moscova, Izdatelstvo Fizkultura i Sport, 1966, C.N.E.F.S. Sect. Documentare, Bucureşti, 1968.

MERSUL ALERGAREA ŞI ARUNCAREA

BACIU CL. **Statica şi mersul la normali şi la poliomielitici.** Tratat. complex al sechelelor poliomielitice. Soc. St. Med. şi Inst. de Baln. şi Fiziol., Bucureşti, 1960.
CUNNINGHAM D. M., BROWN. **Two Devices for Measuring the Forces Acting on the Human Body During Walking.** In : Proc. Soc. Exp. Stress Analysis, 9, 2, 1952.
GROSSIORD **La Physiopathologie de la marche.** Al IV-lea Simpozion al Asociaţiei europene contra poliomielitei, Bologna, 20—22 sept. 1956.
LEVENS A. S., INMAN V. T. **Transverse Rotation of the Segments of the Lower Extremity in Locomotion.** In : Journ. Bone and Joint Surgery, **30-A.**
MARINESCU G. **Les troubles de la marche dans l'hémiplégie organique étudiées à l'aide du cinématographe.** In : Semaine Médicale, 1899.
MOINA ION **Analiza cursei de 100 m plat prin metoda înregistrării paşilor.** Teză de licenţă. NAEF. Catedra Psihologie. Prof. C. Callavrezzo, 1945.
MURRAY M. P. ş.a. **Walking Patterns of Normal Man.** In : Journ. Bone and Joint Surgery, **46-A**, 2, 1964.
SCHWARTZ R. P., HEATH A. L., MORGAN D. W., TOWNS R. C. **A Quantitative Analysis of Recorded Variables in the Walking Patterns of Normal Adults.** In : Journ. Bone and Joint Surgery, **46-A**, 2, 1964.

CUPRINS

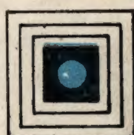
36 — Anatomia funcțională și biomecanica aparatului locomotor — cd. 271

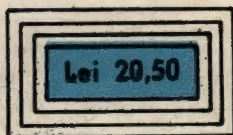
Redactor : EMILIA IVAN
Tehnoredactor : I. PETRE

Bun de tipar 13.X.1977.
Tiraj 6350+70
Coli de tipar 35,25

Lucrarea executată sub comanda 271
la Întreprinderea Poligrafică OLTENIA

REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA




Lei 20,50

